

(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表2003-506747

(P2003-506747A)

(43)公表日 平成15年2月18日 (2003.2.18)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	マーク(参考)
G 02 B 17/00		G 02 B 17/00	A 2 H 0 5 2
13/18		13/18	2 H 0 8 7
13/24		13/24	2 H 0 9 7
19/00		19/00	5 F 0 4 6
G 03 F 7/20	5 0 3	G 03 F 7/20	5 0 3
	審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 83 頁)		最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-514632(P2001-514632)  
(86) (22)出願日 平成12年7月28日(2000.7.28)  
(85)翻訳文提出日 平成14年1月30日(2002.1.30)  
(80)国際出願番号 PCT/EPO-0-0-72-5-8  
(87)国際公開番号 WO 01/009681  
(87)国際公開日 平成13年2月8日(2001.2.8)  
(31)優先権主張番号 19935568.1  
(32)優先日 平成11年7月30日(1999.7.30)  
(33)優先権主張国 ドイツ(DE)  
(31)優先権主張番号 29915847.0  
(32)優先日 平成11年9月9日(1999.9.9)  
(33)優先権主張国 ドイツ(DE)

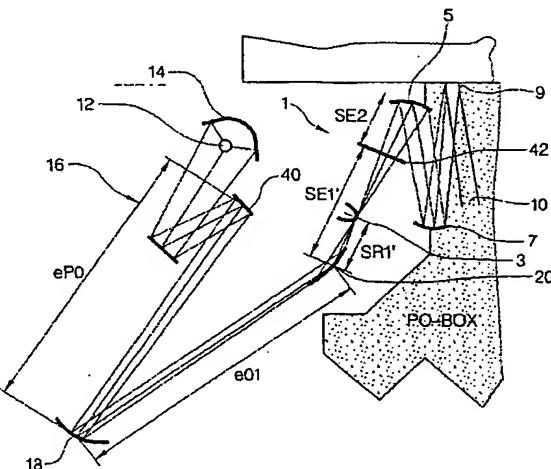
(71)出願人 カールツァイス・シュティフトゥング  
トレイディング・アズ・カールツァイス  
ドイツ・(ブレンツ)ハイデンハイム  
89518  
(72)発明者 マルティン・アントニ  
ドイツ・D-73430・アーレン・ブルンネ  
ンシュトトラーゼ・19  
(72)発明者 イザベル・エスクデロ・サンツ  
オランダ・NL-2631・ゲーベー・ノート  
ドルブ・シトヴィンデ・15  
(74)代理人 弁理士 渡邊 隆(外3名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 照明光学系用の多重反射鏡光学系

(57)【要約】

本発明は、結像光学系を備え、前記結像光学系は、少なくとも第1の反射鏡5および第2の反射鏡7と、物面3と、該結像光学系によってオブジェクトの像がその中に形成される像面9と、前記像面9内の円弧状のフィールドとを備え、該円弧状フィールドの中央での半径方向によって走査方向が決められてなる、特に193nm以下の波長によるリソグラフィのための照明光学系用の多重反射鏡光学系に関する。多重反射鏡光学系において、前記結像光学系の少なくとも前記第1の反射鏡5および前記第2の反射鏡7は、像面9の円弧状フィールドの縁部の鮮銳度が走査方向で5mmよりも小さく、好ましくは2mmよりも小さく、特に好ましくは1mmよりも小さくなるような位置および形状をもって、結像光学系の光路内に配置されていることを特徴としている。



BEST AVAILABLE COPY

**【特許請求の範囲】**

**【請求項 1】** 特に  $193\text{ nm}$  以下の波長によるリソグラフィのための照明光学系用の多重反射鏡光学系であって、

結像光学系を備え、前記結像光学系は、少なくとも第 1 の反射鏡 (5) および第 2 の反射鏡 (7) と、

物面 (3) と、

該結像光学系によってオブジェクトの像がその中に形成される像面 (9) と、前記像面 (9) 内の円弧状のフィールドとを備え、該円弧状フィールドの中央での半径方向によって走査方向が決められてなる、

多重反射鏡光学系において、

前記結像光学系の少なくとも前記第 1 の反射鏡 (5) および前記第 2 の反射鏡 (7) は、前記像面内の前記円弧状フィールドの縁部の鮮鋭度が前記走査方向で  $5\text{ mm}$  よりも小さく、好ましくは  $2\text{ mm}$  よりも小さく、特に好ましくは  $1\text{ mm}$  よりも小さくなるような位置および形状をもって、前記結像光学系の光路内に配置されていることを特徴とする多重反射鏡光学系。

**【請求項 2】** 前記結像光学系の少なくとも前記第 1 の反射鏡 (5) および前記第 2 の反射鏡 (7) は、前記像面内の前記円弧状フィールドの前記縁部の鮮鋭度が前記走査方向と垂直な方向で  $5\text{ mm}$  よりも小さく、好ましくは  $2\text{ mm}$  よりも小さく、特に好ましくは  $1\text{ mm}$  よりも小さくなるような位置および形状をもって、前記結像光学系の前記光路内に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の多重反射鏡光学系。

**【請求項 3】** 前記物面 (3) 内の前記オブジェクトが円弧状フィールドであることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の多重反射鏡光学系。

**【請求項 4】** 前記結像光学系において前記物面 (3) から前記像面 (9) へと進む光線は、前記第 1 の反射鏡 (5) および前記第 2 の反射鏡 (7) に入射して、これらの反射鏡の第 1 および第 2 の使用領域を形成し、前記光線は、反射鏡の面の法線に対して  $30^\circ$  以下または  $60^\circ$  以上、特に  $20^\circ$  以下または  $70^\circ$  以上の入射角を有して前記第 1 の反射鏡 (5) および前記第 2 の反射鏡 (7) に入射することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 項に記載の多

重反射鏡光学系。

【請求項5】 前記結像光学系によって結像された前記フィールドの横倍率は1と異なるものにされていることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項6】 前記結像光学系が非軸対称系であることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項7】 前記物面(3)内もしくはその近傍に、視野絞りが配置されていることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項8】 前記結像光学系は、射出瞳(10)を備え、該射出瞳(10)に対して共役な面(42)内もしくはその近傍に、開口絞りが配置されていることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項9】 前記結像光学系が射出瞳(10)を備え、該射出瞳(10)に対して共役な面(42)の近傍に前記第1の反射鏡が配置されていることを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項10】 前記第1の反射鏡および前記第2の反射鏡のいずれか一方もしくは双方は、非球面反射鏡であることを特徴とする請求項1ないし請求項9のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項11】 前記第1の反射鏡(5)は、概略双曲線形状または概略橢円形状の凹面反射鏡であり、第1の回転軸(50)を規定していることを特徴とする請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項12】 前記第2の反射鏡(7)は、概略双曲線形状または概略橢円形状の凹面反射鏡であり、第2の回転軸(52)を規定していることを特徴とする請求項1ないし請求項11のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項13】 前記第1の反射鏡(5)および前記第2の反射鏡(7)は、前記結像光学系を通って進む光線が前記第1および第2の反射鏡に入射する使用領域を備え、該使用領域は、前記第1および第2の回転軸に対して軸外に配置されていることを特徴とする請求項11または請求項12に記載の多重反射鏡光

学系。

【請求項14】 前記第1の回転軸(50)と前記第2の回転軸(52)とが角度 $\gamma$ を成しており、

前記第1の反射鏡および前記第2の反射鏡は、前記フィールドの中心および前記射出瞳の中心を通って進む主光線に関して第1の倍率を規定し、前記フィールドの中心および前記射出瞳の上縁を通って進む上側コマ光線に関して第2の倍率を規定し、前記フィールドの中心および前記射出瞳の下縁を通って進む下側コマ光線に関して第3の倍率を規定し、前記第1の回転軸(50)と前記第2の回転軸(52)との間の角度 $\gamma$ は、前記第1、第2、第3の倍率がほぼ同一となるように選択されていることを特徴とする請求項11ないし請求項13のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項15】 特に193nm以下の波長によるリソグラフィのための照明光学系用の多重反射鏡光学系であって、

結像光学系を備え、前記結像光学系は、

物面(3)と、

該結像光学系によってオブジェクトの像がその中に形成される像面(9)と、前記像面(9)内の円弧状のフィールドとを備えてなる、

多重反射鏡光学系において、

前記結像光学系は、少なくとも直入射形の反射鏡(5,7)とフィールド形成光学素子とを備えていることを特徴とする多重反射鏡光学系。

【請求項16】 前記物面内の前記オブジェクトが任意のフィールドであることを特徴とする請求項15に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項17】 前記物面内の前記フィールドが矩形のフィールドとされ、前記矩形のフィールドは、前記フィールド形成光学素子によって、前記像面内の円弧状フィールドに形成されるように構成されていることを特徴とする請求項16に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項18】 前記フィールド形成光学素子は、少なくとも一つの斜入射形の反射鏡を備えていることを特徴とする請求項15ないし請求項17のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項19】 前記斜入射形の反射鏡は、負の光学的倍率を有していることとを特徴とする請求項18に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項20】 前記フィールド形成光学素子は、正の光学的倍率を有する第1の斜入射形の反射鏡と、フィールドを回転させるための第2の斜入射形の反射鏡とを備えていることを特徴とする請求項18に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項21】 前記結像光学系は、2つの直入射形の反射鏡(5, 7)と、フィールド形成光学素子としての一つの斜入射形の反射鏡(306)とを備えていることを特徴とする請求項15ないし請求項19のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項22】 前記物面内に配置された視野絞りを備えていることを特徴とする請求項15ないし請求項21のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項23】 前記結像光学系によって結像された前記フィールドの倍率は、1と異なるものとされていることを特徴とする請求項15ないし請求項22のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項24】 前記少なくとも直入射形の反射鏡、および／または、前記第1の斜入射形の反射鏡、および／または、前記第2の斜入射形の反射鏡は、非球面反射鏡であることを特徴とする請求項15ないし請求項23のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項25】 前記フィールド形成光学素子が前記像面の近傍に配置されていることを特徴とする請求項15ないし請求項24のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項26】 前記少なくとも直入射形の反射鏡、および／または、前記第1の斜入射形の反射鏡、および／または、前記第2の斜入射形の反射鏡は、前記結像光学系を通って進む光線が前記少なくとも直入射形の反射鏡、および／または、前記第1の斜入射形の反射鏡、および／または、前記第2の斜入射形の反射鏡に入射する使用領域を備え、該使用領域は、前記第1の軸に対して軸外に配置されていることを特徴とする請求項15ないし請求項25のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項27】 193nm以下の波長によるリソグラフィのための照明光

学系であって、

光源と、

結像光学系を備えた多重反射鏡光学系とを備え、前記結像光学系は、物面と、該多重反射鏡光学系の前記物面内に円弧状のフィールドを形成するための光学素子とを備えてなる、

照明光学系において、

前記多重反射鏡光学系は、前記物面内の前記フィールドを前記結像光学系の像面に結像させるための請求項1ないし請求項17のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系とされていることを特徴とする照明光学系。

**【請求項28】** 前記照明光学系は、二次光源を形成するための格子素子を有する少なくとも一つの反射鏡またはレンズを備えていることを特徴とする請求項27に記載の多重反射鏡光学系。

**【請求項29】** 特に193nm以下の波長によるリソグラフィのための照明光学系であって、

光源と、

物面を有する結像光学系を備えた多重反射鏡光学系と、

前記物面内の任意のフィールドと、

二次光源を形成するための格子素子を有する少なくとも一つの反射鏡またはレンズを備えた少なくとも一つの反射鏡装置またはレンズ装置とを備えた照明光学系において、

請求項17ないし請求項25のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系を備えていることを特徴とする照明光学系。

**【請求項30】** 射出瞳を有する請求項27ないし請求項29のいずれか1項に記載された少なくとも一つの照明光学系と、

結像光学系の像面内に置かれた、搬送システム上のマスクと、

照明光学系の射出瞳と同じ面に位置する入射瞳を有する投影光学系と、

搬送システム上の感光性物体とを備えたマイクロリソグラフィのためのEUV投影露光ユニット。

**【請求項31】** 走査システムとして形成された請求項30に記載のEUV

投影露光ユニット。

【請求項32】 請求項30または請求項31に記載されたEUV投影露光ユニットを用いて、マイクロエレクトロニクス・デバイス、特に半導体チップを製造する方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、結像光学系を備えた特に193nm以下の波長によるリソグラフィのための照明光学系用の多重反射鏡光学系に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

EUVリソグラフィは、次世代のリソグラフィの最も有望な候補のうちの1つである。半導体製造の発展により、形状寸法を50nm以上小さくすることが要求されている。これは、13.5nmという短い波長と、0.2~0.3の中程度の開口数とを用いることによって解決される。リソグラフィ光学系の像の質は、投影光学系および照明光学系の性能によって決定される。照明光学系の構成は、EUVリソグラフィにおける重要な問題である。今日のリソグラフィ光学系において、照明部は、レチクルフィールドにわたって一定の照度を与えなければならない。EUVに関しては、複数の別個の要件を解決しなければならない。

**【0003】**

EUV結像光学系は、反射光学系として実現される必要がある。そのため、鮮鋭な瞳、ならびに高度に補正された像フィールドを得ることができるのは、像の小径領域においてだけである。したがって、フィールド形状は、ウエハの高さでほぼ2mm(幅)×22~26mm(弧の長さ)の大きいアスペクト比を有するリングフィールドである。投影光学系はスキャンモードで動作する。

**【0004】**

EUV照明光学系は、一般に、非球面反射鏡の軸外の部分によって形成される非軸対称系である。多層コーティングされた表面の反射率は、直入射で約70%、斜入射で約90%である。スループットを最大にするため、反射の数を最小にしなければならず、できるならばいつでも斜入射形の光学素子を使用する必要がある。

**【0005】**

光学的構成部材の数に限りがある照明光学系の条件を満たすためには、構成部

材の複雑さを増してやらなければならない。その結果、面は、セグメント化され、或は非球面状にされる。これらの構成部材の製造においては、非球面反射鏡およびセグメント化された素子の形状および寸法、表面仕上げの質に対する厳しい条件が主要な課題となる。

#### 【0006】

現在、いくつかのEUV光源が議論されている。それらは、光学系の特徴や、照明部に関する重要な特徴が異なっている。光学系の特徴は、例えば、倍率、繰り返し率、フットプリントといったものである。照明光学系に関しては、放射を行なうプラズマのサイズ、および発散、放射特性、幾何学的な口径食が関連してくる。これらの特性が照明を設けるに当たって考慮されなければならない。

#### 【0007】

光学系においてエタンデュが一定であることは、基礎的な物理から良く知られている。光源から供給されるエタンデュは、照明部のエタンデュよりも小さくなければならない。さもなければ、光が失われることになる。しかしながら、現在の光源において、エタンデュは略1桁小さい。したがって、光学系のフィールドまたは瞳が完全に満たされない。さらに、大きいアスペクト比を有するリングフィールドには、アナモルフィックなエタンデュが要求され、これは照明部によって形成されなければならない。

#### 【0008】

ヘルムホルツーラグランジュにより、古典光学系において、フィールドAと開口数NAとの積は一定となる。鮮鋭な円形の瞳において、ヘルムホルツーラグランジュの不变量HLI、すなわちエタンデュは、以下の式で表わすことができる。

(1)

#### 【数1】

$$\text{エタンデュ} = A \cdot \pi \cdot NA^2$$

#### 【0009】

一般に、エタンデュの不变性は、保存系における位相空間体積の不变性に、光

学的に等価なものとして解釈することができる。エタンデュは、4次元の体積積分として表わすことができる。

(2)

【数2】

$$\text{エタンデュ} = \int F(x, y, P_x, P_y) dx dy dP_x dP_y$$

ここで、位相空間内で占められた量を表す関数F、ならびに、瞳の座標に対応する光学的な方向余弦のベクトル

【数3】

$$\bar{P} = (n \sin \theta \cos \varphi, n \sin \theta \sin \varphi, n \cos \theta)$$

を用いた。

【0010】

軸対称系に対しては、式(2)における光学的な方向余弦の積分は、極座標( $\theta, \phi$ )で表わすことができる。

(3)

【数4】

$$\begin{aligned} \text{エタンデュ} &= \int F(x, y, \theta, \varphi) dA \left| \frac{\partial(P_x, P_y)}{\partial(\theta, \varphi)} \right| d\theta d\varphi \\ &= \int F(x, y, \theta, \varphi) dA \sin \theta \cos \theta d\theta d\varphi \end{aligned}$$

【0011】

レチクルでの照明領域(フィールド)は、約8mm×88mmの寸法をもつ円弧状のものである。したがって、照明光学系によって与えられるエタンデュは、角度領域で概ね等方性を有していなければならない一方、アスペクト比が1:10である空間領域では高アナモルフィックでなければならない。とはいいうものの、種々の異なる光源は、角度領域と同様に空間領域においても概ね等方的なふるまいを示す。また、たとえ最適な収集効率が確保されても、既知の全ての光源のエタンデュは非常に小さい。したがって、EUV照明光学系においては、角度領

域における等方性を変化させることなく、光源のエタンデュを変化させることができ  
る。アレー光学素子は、エタンデュを変化させる最も有望な方法を提供する。光学的  
なアレー光学素子を用いれば、大きなアスペクト比のフィールドを形成することができ  
るとともに、所望の開口を得ることができる。

#### 【0012】

入射瞳をセグメント化（細分化）することによって、エタンデュは、増加はせ  
ず、変化するだけである。アレー光学素子の例は、リップル・プレート（ripple  
-plate）（円柱レンズの列）およびフライ・アイ・インテグレータ（fly's eye  
-integrator）である。両者共、大きいアスペクト比のフィールドを形成するこ  
とができる、入射瞳のセグメント化が得られる。部分干渉像シミュレーションは、  
妥当な数のセグメントが選択されれば、瞳の細分化の影響が許容され得ることを  
示している。フライ・アイ・インテグレータを有する照明光学系は、独国特許第  
19903807号公開公報および国際公開第99/57732号パンフレットに開示されてお  
り、これらの出願内容は、本願に包括的に取り入れられている。

#### 【0013】

リップル・プレートを有する照明光学系は、1999年のSPIE3767の会報の2  
25頁～236頁にある、Henry N. Chapman、およびKeith A. Nugentによる  
「A novel Condensor for EUV Lithography Ring-Field Projection Optics」に  
よって知られている。

#### 【0014】

前記論文の内容も、本願に包括的に取り入れられている。

#### 【0015】

照明光学系は、レンズ光学系と組み合せられなければならず、機械的構成の制  
約を満たさなければならない。非軸対称な反射系の機械的な構成は、反射鏡の数  
および屈折角に大きく依存している。この配置の中で、反射鏡および特定の構成  
部材は、厳しい許容誤差で装着されなければならない。フレーム構造の熱負荷お  
よび固有振動数が考慮される必要がある。

#### 【0016】

EUVにおいて、各反射は30%の光損失を伴う。光が吸収もしくは発散され

て、反射鏡が加熱する。光学素子および機械的構造物の変形を避けるためには、反射鏡の冷却が必要である。これは特に難しい問題である。なぜなら、全ての光学系が真空中になければならず、したがって、冷却のために伝導しか利用できないからである。

#### 【0017】

また、リソグラフィのための照明光学系においては、例えば視野絞りによってフィールドを遮断する手段を入れることが望ましい。

#### 【0018】

視野絞りを有するリソグラフィのための照明光学系は、米国特許第4294538号明細書に示されている。この文献の内容は、本願に包括的に取り入れられている。米国特許第4294538号明細書に係る光学系は、その上に光源のアーチ状の像が形成されるスリット板を備えている。スリットのアーチチャーブの円弧方向の長さ、および径方向の長さを変化させることにより、マスク上における光源のアーチ状の像の円弧方向の長さ、および径方向の長さを調整することができる。したがって、スリット板を視野絞りとして形成することができる。スリット板とマスクとの間には、スリット板の面内の円弧状フィールドをレチクルマスク上に結像させる2つの反射鏡が配置されている。

#### 【0019】

米国特許第4294538号明細書によって知られた照明光学系は、光を可視領域で放射する超高圧水銀ランプを備えた光源用に構成されているため、この光学系は、193nm以下の波長用の照明光学系とは全体的に異なる。

#### 【0020】

例えば、前記光学系は、EUVシステムに不可欠な、例えばフライ・アイ・インテグレータの格子素子によって光源のエタングルを増加させる手段を有していない。

#### 【0021】

米国特許第4294538号明細書に係る反射鏡には、45°の角度で光学系を通して進む光線が入射する。これは、EUVシステムでは不可能である。なぜなら、EUVシステムの直入射形反射鏡は40対以上の交代層を備えているからである。

。平均入射角が30°よりも大きい場合、あるいは、70°よりも小さい場合、多数の交代層は位相に影響を及ぼす。従来技術と同様に、EUVシステムにおいて45°の入射角を使用すると、全体がs偏光とp偏光とに分光し、ブルースターの原理にしたがって一方の偏光が完全に失われる。また、そのような反射鏡は、偏光素子として機能する。

#### 【0022】

米国特許第4294538号明細書に係る光学系の他の欠点は、物面のレチクルに光線がテレセントリックに入射するという点である。これは、反射マスクを使用したEUVシステムでは不可能である。

#### 【0023】

また、米国特許第4294538号明細書によって知られる光学系は、1:1の光学系である。これは、結像光学系の物面の視野絞りが像面内のフィールドと同じサイズを有していることを意味している。したがって、視野絞りは、常に、像面のレチクルと同じ速度で移動されなければならない。また、前記照明光学系は、従来の光学系、例えば米国特許第4294538号明細書によって知られる光学系よりも速い速度でレチクルおよびマスクが作動する高スループット光学系に適用できなければならない。

#### 【0024】

##### 【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、193nm以下の波長によるリソグラフィに用いられる照明光学系用の結像光学系であって、視野絞り等のオブジェクトをレチクルマスク等の像へと結像させる結像光学系を提供することにある。とりわけ損失を最小限にする必要があり、その一方で、特に走査方向での縁部の鮮鋭度に関する像の質をできる限り高くしなければならない。

#### 【0025】

##### 【課題を解決するための手段】

第一の実施形態によれば、本発明の前記目的は、少なくとも第1の反射鏡および第2の反射鏡を有する結像光学系を備え、前記第1の反射鏡および前記第2の反射鏡は、像面の円弧状フィールドの縁部の鮮鋭度が走査方向で5mmよりも小

さく、好ましくは2mmよりも小さく、特に好ましくは1mmよりも小さくなるような位置および形状をもって、前記結像光学系の光路内に配置されている多重反射鏡光学系によって解決される。

#### 【0026】

好ましい実施形態において、像面内の円弧状フィールドの縁部の鮮鋭度は、走査方向と垂直な方向で、5mmよりも小さく、好ましくは2mmよりも小さく、特に好ましくは1mmよりも小さい。

#### 【0027】

像面内のフィールドは常に円弧状であるが、本発明の第1の実施形態において、物面内のオブジェクトは、円弧状フィールドである。これは、本発明による結像光学系がいかなるフィールドを形成する光学素子をも備えていないことを意味する。

#### 【0028】

好ましくは、結像光学系において物面から像面へと進む光線は、第1の反射鏡および第2の反射鏡に入射して、反射鏡の第1および第2の使用領域を形成し、前記光線は、光学系の光損失を最小限に抑えるよう、前記使用領域において、反射鏡の面の法線に対して30°以下または60°以上、特に20°以下または70°以上の入射角を有して前記第1の反射鏡および前記第2の反射鏡に入射する。物面内において視野絞りを、そして、像面内でレチクルを、それぞれ異なる速度で移動させるために、結像光学系の倍率は1と異なるものとされている。

#### 【0029】

望ましい実施形態において、本発明の結像光学系は軸対称系ではない。

#### 【0030】

結像光学系の射出瞳に共役な面内、もしくはその近傍には、開口絞りが配置されていることが好ましい。

#### 【0031】

結像光学系の第1の反射鏡、及び／又は第2の反射鏡は、非球面反射鏡であることが望ましい。

#### 【0032】

本発明の好ましい実施形態において、第1の反射鏡は、略双曲線状または略楕円状の凹面反射鏡であり、第1の回転軸を規定している。

#### 【0033】

さらに、第2の反射鏡は、略双曲線状または略楕円状の凹面反射鏡であり、第2の回転軸を規定している。

#### 【0034】

好ましくは、第1の反射鏡および第2の反射鏡は、結像光学系を通って進む光線がこれら第1および第2の反射鏡に入射する使用領域を有し、この使用領域は、第1および第2の回転軸から離れた位置に形成されている。

#### 【0035】

好ましい実施形態においては、第1の回転軸と第2の回転軸とが角度 $\gamma$ を成している。この角度 $\gamma$ は光学系のコマ補正 (COMA-correction) から計算される。第1の反射鏡および第2の反射鏡は、フィールドの中心および射出瞳の中心を通って進む主光線に関して第1の倍率を規定し、フィールドの中心および射出瞳の上縁を通って進む上側コマ光線に関して第2の倍率を規定し、そして、フィールドの中心および射出瞳の下縁を通って進む下側コマ光線に関して第3の倍率を規定する。光学系がコマ補正されている場合、第1、第2、第3の倍率はほぼ同一となる。この状態から、第1の回転軸と第2の回転軸との間の角度 $\gamma$ が規定される。

#### 【0036】

本発明の第2の実施形態において、波長が193nm以下の照明光学系のための多重反射鏡光学系は、結像光学系を備えている。この場合、前記結像光学系は少なくとも第1の反射鏡とフィールド形成光学素子とを備えている。本発明のこのような実施形態において、物面内のフィールドは、任意の形状、例えば矩形フィールドを成すことができる。

#### 【0037】

矩形フィールドの場合、この矩形フィールドは、結像光学系のフィールド形成光学素子によって、像面内の円弧状フィールドへと形成される。本発明の第2の実施形態の利点は、本発明の多重反射鏡光学系の手前に配置される光路内にフィ

ールドを形成するための特別な光学素子が必要ないという点である。これによつて、照明光学系における反射鏡全体の数を減らすことができ、したがつて、照明光学系内での損失を低減することができる。

#### 【0038】

第2の実施形態の上述したフィールド形成光学素子は、少なくとも一つの斜入射形の反射鏡を備えていることが好ましい。斜入射形の反射鏡は、EUV領域の直入射形反射鏡が一般に高い損失を伴う多層膜反射光学系であるのに対して、コーティングされる必要がないという利点を有している。

#### 【0039】

好ましい実施形態において、フィールド形成光学素子は、2つの反射鏡、すなわち、正の光学的倍率を有する第1の斜入射形の反射鏡と、フィールドを回転させるための第2の斜入射形の反射鏡とを備えている。

#### 【0040】

他の好ましい実施形態は、所望の方向性を有する円弧状のフィールドを得るために、負の光学的倍率を有する一つの斜入射形のフィールドレンズを使用する。

#### 【0041】

結像光学系以外に、本発明は、光源と、結像光学系を備えた多重反射鏡光学系とを有し、前記結像光学系は、物面を有している、特に193nm以下の波長によるリソグラフィのための照明光学系を提供する。この照明光学系は、更に、多重反射鏡光学系の手前に置かれた光路内に、多重反射鏡光学系の物面内に円弧状のフィールドを形成するための光学素子を備えている。多重反射鏡光学系は、物面からのフィールドを結像光学系の像面に結像させるための本発明に係る光学系である。

#### 【0042】

エタンデュを増加させるため、前記照明光学系は、二次光源を形成するための格子素子を備えた少なくとも一つの反射鏡またはレンズを備えていてもよい。

#### 【0043】

上述した照明光学系は、EUV投影露光ユニットに用いられてもよい。このEUV投影露光ユニットは、結像光学系の像面内に置かれた、搬送システム上のマ

スクと、照明光学系の射出瞳と同じ面に位置する入射瞳を有する投影光学系と、搬送システム上の感光性物体とを備えている。

#### 【0044】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の好ましい実施形態を図面に基づき詳述する。

#### 【0045】

図1には、物面3と、第1の反射鏡5と、第2の反射鏡7と、像面9とを有する本発明の結像光学系1を備えたEUV照明光学系が示されている。物面3内には、光学系の視野絞りが配置されている。さらに、物面3内のフィールドは既に円弧状を呈している。結像光学系1は、円弧状のフィールドを物面3から像面9に結像させる。像面9内には、EUV照明光学系のレチクルまたはマスクが配置されている。また、EUV照明光学系全体の射出瞳と一致する結像光学系1の射出瞳10も示されている。射出瞳10は、投影光学系の入射瞳と一致している。また、図1に示されるEUV照明光学系は、光源12と、集光器14と、光源12のエタンデュを増加させるための手段16と、結像光学系1の物面3に円弧状のフィールドを形成するためのフィールド形成反射鏡18, 20とを備えている。また、射出瞳10に対して共役な第1の面40、および、射出瞳10に対して共役な第2の面42が示されている。更に、第1のフィールド形成反射鏡18と射出瞳10に対して共役な第1の面40との間の距離eP0、第1のフィールド形成反射鏡18と第2のフィールド形成反射鏡20との間の距離e01、第2のフィールド形成反射鏡20と射出瞳10に対して共役な第2の面42との間の距離SE1'、第2のフィールド形成反射鏡20と物面3との間の距離SR1'、射出瞳10に対して共役な第2の面42と第1の結像反射鏡5との間の距離SE2とが図示されている。

#### 【0046】

以下に示される光学系の実施形態の全体にわたって、幾つかのパラメータは、一定のままである。しかしながら、以下に示されるような設計の原理は、他のパラメータのセットに適用することができる。

#### 【0047】

本願で示される全ての実施形態において、結像光学系の像面9での入射角は6°であり、像面9での開口数はNA=0.05である。それは、例えば、投影レンズのNA=0.0625および $\sigma=0.8$ に対応している。EUV照明光学系の後方の光路内に配置された投影レンズは、典型的には4倍の倍率を有しており、したがって、例えばEUV投影露光ユニットのウエハといった感光性物体においてNA=0.25を有している。

#### 【0048】

図2は、図1に概略的に示されたEUV照明光学系を詳細に示している。図1と同じ部材には同一の符号が付されている。

#### 【0049】

図2に示される光学系は、光源12と集光反射鏡14とを備えている。可能なEUV光源に関しては、独国特許第19903807号公開公報および国際公開第99/57732号パンフレットに開示されている。これらの出願内容は、本願に包括的に取り入れられている。図2の光学系の集光反射鏡14は、橢円形状を成している。エタンデュを増加させるための手段16は、いわゆるフライ・アイ・インテグレータである格子素子30, 32を有する2つの反射鏡を備えている。格子素子30を有する第1の反射鏡は、4×64のフィールド切り子面の配列を備えており、各フィールド切り子面は、平面形状、橢円形状、トロイダル形状、球面状( $R=-850\text{ mm}$ )を成している。格子素子32を有する第2の反射鏡は、16×16の瞳切り子面の配列、すなわち、瞳切り子面を持つ球状もしくは六角形状の格子を備えており、各瞳切り子面は、双曲線状、トロイダル形状、球面状( $R=-960\text{ mm}$ )の形状を成している。第2の反射鏡32は、照明光学系の射出瞳10に対して共役な面内に配置されている。

#### 【0050】

上述したような格子素子を備えた第1および第2の反射鏡を有する照明光学系は、独国特許第19903807号公開公報および国際公開第99/57732号パンフレットに開示されており、これらの出願内容は、本願に包括的に取り入れられている。

#### 【0051】

円弧状のフィールドを結像光学系の物面内に形成するために、2つのフィール

ド形成反射鏡18, 20を備えている。第2のフィールド形成反射鏡20は斜入射形の反射鏡である。

#### 【0052】

原理的には、フィールド形成のためには、一つの反射鏡、ここでは反射鏡20で十分である。しかし、反射鏡18は、光学系の長さおよび瞳切り子面の大きさを制御するために必要とされる。約100mmという大きなフィールド半径を得るために、反射鏡20は低い光学的倍率(optical power)を有していなければならぬ。

#### 【0053】

フィールド切り子面および瞳切り子面のサイズは、光学系のエタンデュに關係している。フィールド切り子面のサイズと瞳面のサイズとの積は、エタンデュによって決定される。瞳面は、照明光学系の射出瞳10に対して共役な第1の面40とされる。前記面内には、格子素子32を有する第2の反射鏡が配置されている。上述した關係に起因して、フィールド切り子面および瞳切り子面のサイズが制限される。瞳切り子面の倍率が非常に大きいと、すなわち、瞳切り子面が非常に小さいと、フィールド切り子面は非常に大きくなる。光学系の射出瞳10に共役な第2の面42への瞳切り子面の結像倍率を大きくしないように、反射鏡20と格子素子32を有する第2の反射鏡との間の距離を大きくするか、あるいは、特別な反射鏡18を導入しなければならない。第1のフィールド形成反射鏡18は、第2のフィールド形成反射鏡の瞳切り子面を格子素子32を用いて光学系の射出瞳10に共役な第2の面42へと結像させるため、第1のフィールド形成反射鏡18と第2の反射鏡20とから成る結像光学系のほぼ全体の倍率を有している。

#### 【0054】

第1のフィールド反射鏡18および第2のフィールド反射鏡20に関するデータが表1に示されている。

#### 〔表1〕

第1および第2のフィールド反射鏡に関するデータ

#### 【表1】

	第1のフィールド反射鏡18	第2のフィールド反射鏡20
形状	双曲面	橢円面
$f$	$\approx 1616\text{mm}$	$\approx 605\text{mm}$
面の法線に 対する入射角	$7^\circ$	$75^\circ$ (斜入射)
円錐曲線 レイアウト	瞳結像用	瞳結像用
$\beta_{\text{pupil imaging}}$	7.46429	-0.05386

## 【0055】

射出瞳10に対して共役な第1の面40と、射出瞳10に対して共役な第2の面42との間の倍率は、 $\beta_{40 \rightarrow 42} = -0.4$ である。物面3における円弧状フィールドのフィールド半径は、第2のフィールド反射鏡20によって制御される。

## 【0056】

結像光学系の倍率が $\beta_{\text{image}} = -1$ で、 $R_{\text{Field}} = 100\text{mm}$ である場合、第2のフィールド形成反射鏡20によって形成されるフィールド半径は $R_{\text{obj}} = -100\text{mm}$ である。半径 $R_{\text{obj}}$ を制御するための手段は3つある。すなわち、光学的倍率、表1を参照、

$f = 605\text{mm}$ 、第2のフィールド形成反射鏡20と物面3との間の主光線距離、

$SR1' = 250\text{mm}$ および斜入射角、  
である。

## 【0057】

光学系の構成に関する更なる値において、

$$eP0 = 1400\text{mm}$$

$$e01 = 1550\text{mm}$$

$$SE1' = 637\text{mm}$$

$$SE2 = -262.965\text{mm}$$

光学系は、一次の光学式を用いて導くことができる。

**【0058】**

射出瞳10に対して共役な第2の面42内には、照明光学系のための接近可能な開口絞りを配置することができる。

**【0059】**

フィールド面に対して共役な物面3からの円弧状のフィールドを、照明光学系のフィールド面に対応して且つ照明光学系のレチクルまたはマスクが配置される像面9に結像するための、第1の結像反射鏡5および第2の結像反射鏡7を有する結像光学系1を備えた本発明の多重反射鏡光学系が図2に示されている。

**【0060】**

共役フィールド面3は、レチクルマスキングのための面として使用してもよい。前記面は、構成の限界において第2のフィールド形成反射鏡20の近傍、例えば、反射鏡上での斜入射 $\approx 15^\circ$ の反射に対する主光線距離 $SR' \approx 250\text{ mm}$ といった位置に配置されている。物面3である共役フィールド面内のフィールドは、フィールド形成反射鏡20によって円弧状を成しており、したがって、レマ・ブレード(remap blade)は略矩形である必要がある。後続のレマ光学系(remap system)の僅かな歪曲を補償することができる。

**【0061】**

照明光学系の全ての反射鏡は正の光学的倍率を有しているため、正の反射鏡20の後方にある共役フィールド面3におけるフィールド方向は、本発明の結像光学系1の負の倍率によって鏡映される。この時、フィールド面9におけるフィールド方向は正しい。

**【0062】**

軸に揃えられない配置に起因する歪曲を補償する目的で第2のフィールド形成反射鏡20は軸外にあるため、瞳切り子面は、格子素子32を有する第2の反射鏡上において、歪められた格子上に配置されなければならない。

**【0063】**

予め歪められた格子上に瞳切り子面を配置すると、テレセントリック性および橜円率に関して最適な瞳を得ることができる。

**【0064】**

以下、本発明の多重反射鏡光学系の物面すなわちレマ（REMA）面3に置かれたレマ（REMA）ブレードを、像面、すなわちレチクルが置かれたフィールド面9に結像するための結像光学系を備えている多重反射鏡光学系に関する導出について詳細に述べる。

【0065】

図3には、表1で使用された省略記号、および、本発明の結像光学系の構成素子が概略的な屈折型の図によって示されている。また、図1および図2で用いられた符号を有する部材には、同じ符号が付されている。更に、図3には、フィールド面の虚像3' と射出瞳の虚像10' とが示されている。

【0066】

図3および表2に示される結像光学系は、一次の開始光学系として、双曲線と楕円との組合せとされている。この一次の光学系のデータが表2に示されている。

【表2】

一次の光学系の構成

【表2】

第1の結像 反射鏡5	双曲面	第2の結像 反射鏡7	楕円面
	フィールド結像		瞳結像
	e23	650.0	
f	768.1818	f	650.0
瞳結像			
SE2	-262.9651	SE3	-1049.8383
SE2'	-399.8383	SE3'	1706.6772
$\beta_2$	1.5205	$\beta_3$	-1.6257
フィールド結像			
SR2	-650.0	SR3	-4875.0
SR2'	-4225.0	SR3'	750.0
$\beta_2$	6.5	$\beta_3$	-0.15385

【0067】

表2の結果に対して、良く知られた一次のレンズの式が使用された。ここで、  
例えば、

(4)

【数5】

$$\begin{aligned}\beta &= S' / S \\ S_{i+1} &= S_i - e_{i,i+1} \\ f &= 1/(1/S' - 1/S) \quad (\text{レンズの結像式})\end{aligned}$$

である。なお、ここで  $S$  および  $S'$  は、  $SE$  および  $SE'$  、または  $SR$  および  $SR'$  をそれぞれ示している。

【0068】

本発明に係る結像光学系の構成を決める次のステップにおいて、表2に示される一次の光学系は、最適化されて、コマ収差が補正される。

【0069】

結像光学系の第1の反射鏡5は、フィールドの結像のために最適化された双曲線形の反射鏡である。フィールドの結像とは、REMA面3内のフィールドをフィールド面9に結像させることである。結像光学系の第2の反射鏡7は、瞳の結像のために最適化された梢円形の反射鏡である。瞳の結像とは、射出瞳と共に第2の面42を射出瞳10に結像することである。第1の結像反射鏡5および第2の結像反射鏡7を備えた光学系全体は、コマ補正がなされた光学系に関する表3で使用される省略記号とともに、図3～図5に示されている。図1、図2、図3において同一の構成部材には、同一の符号が付されている。

【0070】

図1、図2、図3に既に示された素子以外に、図4には、以下のものが示されている。すなわち、

- 第1の結像反射鏡5の回転軸50
- 第2の結像反射鏡7の回転軸52
- 第1の結像反射鏡の中心54

- 第1の結像反射鏡の頂点 5 6
- フィールド面3の虚像 3'
- 第2の結像反射鏡の中心 5 8
- 第2の結像反射鏡の頂点 6 0
- 照明光学系の射出瞳10の虚像 1 0'
- 主光線 6 2

【0071】

図4から明らかなように、双曲線形の反射鏡5の軸50および楕円形の反射鏡7の軸によって、角度 $\gamma$ の範囲が定められている。

【0072】

図5は、図4に係る本発明の結像光学系の第1の結像反射鏡5を詳細に示している。この実施形態において、第1の結像反射鏡5は双曲面である。また、図6は、図4に係る結像光学系の第2の結像反射鏡7を詳細に示している。この実施形態において、第2の結像反射鏡7は楕円である。図5および図6では、図4と同じ部材には、同じ符号が付されている。

【0073】

第1の双曲線形の反射鏡5を示す図5において、双曲線のパラメータを計算する以下の式に使用される省略記号が知られている。

【0074】

正の角度 $\omega_2$ 、 $\delta_2$ を用いると、以下のようになる。

(5)

【数6】

$$d_2 = -SR2 \cdot \sin(\omega_2) = -SR2 \cdot \sin(\delta_2)$$

(6)

【数7】

$$\omega_2 = 2\alpha_2 - \delta_2$$

$\Rightarrow$  (7)

【数 8】

$$\beta_{field} = \frac{SR2}{SR2'} = \frac{\sin(2\alpha_2 - \delta_2)}{\sin(\delta_2)} = \frac{\sin(2\alpha_2)}{\tan(\delta_2)} - \cos(2\alpha_2)$$

 $\Rightarrow (8)$ 

【数 9】

$$\delta_2 = \arctan \left( \frac{\sin(2\alpha_2)}{\beta_{field} + \cos(2\alpha_2)} \right)$$

この時、入射する主光線と双曲線軸との間の角度は、

【数 10】

$$\omega_2 = 2\alpha_2 - \delta_2$$

となる。

【0075】

双曲線方程式は、以下の式となる。

(9)

【数 11】

$$\frac{Z^2}{a^2} - \frac{d^2}{b^2} = 1; \quad a = \sqrt{e^2 - b^2}$$

代入して  $b^2$  の解は以下の式で与えられる。

(10)

【数 12】

$$b^4 + (z^2 + d^2 - e^2) b^2 - d^2 e^2 = 0$$

 $\Rightarrow (11)$ 

【数 13】

$$b^2 = \frac{-\left(z^2 + d^2 - e^2\right) + \sqrt{\left(z^2 + d^2 - e^2\right)^2 - 4d^2e^2}}{2}$$

式(5)を用いて、

(12a)

【数14】

$$z_2 = e + SR2 \cdot \cos(\omega_2)$$

(12b)

【数15】

$$e = \frac{(-SR2 \cdot \cos(\omega_2) - SR2' \cdot \cos(\delta_2))}{2}$$

双曲面を規定するパラメータを計算することができる。

【0076】

第2の楕円形の反射鏡7を示す図6において、楕円のパラメータを計算する以下の式に使用される省略記号は知られている。

【0077】

正の角度  $\omega_3, \delta_3$  を用いると、以下のようになる。

(13)

【数16】

$$d_3 = -SE3 \cdot \sin(\omega_3) = +SE3' \cdot \sin(\delta_3)$$

(14)

【数17】

$$\omega_3 = 2\alpha_3 + \delta_3$$

$\Rightarrow$  (15)

【数18】

$$-\beta_{pupil} = \frac{SE3'}{-SE3} = \frac{\sin(2\alpha_3 + \delta_3)}{\sin(\delta_3)} = \frac{\sin(2\alpha_3)}{\tan(\delta_3)} + \cos(2\alpha_3)$$

 $\Rightarrow (16)$ 

【数19】

$$\delta_3 = \arctan\left(\frac{-\sin(2\alpha_3)}{\beta_{field} + \cos(2\alpha_3)}\right)$$

【0078】

入射主光線と双曲面の軸との間の角度は、式(14)によって規定される。

【0079】

橍円面の方程式は、

(17)

【数20】

$$\frac{Z^2}{a^2} + \frac{d^2}{b^2} = 1; \quad \alpha = \sqrt{e^2 + b^2}$$

代入して  $b^2$  の解は以下の式で与えられる。

(18)

【数21】

$$b^4 + (e^2 - z^2 - d^2)b^2 - d^2e^2 = 0$$

 $\Rightarrow (19)$ 

【数22】

$$b^2 = \frac{-\left(e^2 - z^2 - d^2\right) + \sqrt{\left(e^2 - z^2 - d^2\right)^2 - 4d^2e^2}}{2}$$

式(13)を用いて、

(20a)

【数23】

$$z_3 = e - SE2 \cdot \cos(\omega_3)$$

(20b)

【数24】

$$e = \frac{(SE3 \cdot \cos(\omega_3) + SE3' \cdot \cos(\delta_3))}{2}$$

橭円を規定するパラメータを計算することができる。

【0080】

また、橭円および双曲線の以下の方程式は良く知られている。

(21)

【数25】

$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

節点での曲率  $R = -\rho$

(22)

【数26】

$$\varepsilon = \frac{e}{a}$$

離心率

(23)

【数27】

$$K = -\varepsilon^2$$

## 円錐定数

## 【0081】

解析計算を用いて表2に示された一次の光学系にコマ補正を行なうことにより、角度 $\gamma$ が決定される。コマ補正には、 $\gamma$ を計算するために、主光線62に対する結像の倍率と、図4～図6に示されていないコマ光線（coma-rays）とが用いられる。倍率の差は、入射角 $\alpha_3$ （7°）を最小にして、対応する $\alpha_2$ の選択により減少させることができる。この例において、式は、傾斜法により最小化される。ここで、傾斜法とは、例えば表2に示す開始光学系を選択し、倍率を計算するとともに、角度 $\alpha_2$ を変更して、新たな倍率を演算することを意味する。倍率における差から、次の $\alpha_2$ を計算することができる。主光線と上側および下側のコマ光線とにおける倍率の差が例えば0.5%を下回るまで、このアルゴリズムを繰り返す。

## 【0082】

以下、図7を参照しながら、コマ補正について詳細に説明する。図1～図6と同じ部材には、同一の符号が付されている。また、図7には下側のコマ光線70が示されている。

## 【0083】

主光線62に沿う倍率の計算は、一次の展開から明らかである。

## 【0084】

下側のコマ光線70に関して、コマ光線または周辺光線のための計算が示されている。

## 【0085】

双曲線での結像 $3 \Rightarrow 3'$ におけるコマ光線70は真直ぐである。物面3におけるコマ光線または周辺光線は、光線間の角度および双曲面の軸によって規定することができる。すなわち、図5に示される $\omega_2$ を用いて、

(24)

## 【数28】

$$\omega_{2c} = \omega_2 \mp \arcsin(|NA_{reticle} \cdot \beta_{rema, field}|)$$

【0086】

像点3と像点3'との間の距離、および、反射鏡とコマ光線または周辺光線との交点 $I_{2c}$ は、共通の極座標における双曲面方程式によって与えられる。すなわち、

(25)

【数29】

$$S_c = \overline{RI_{2c}} = \frac{\rho}{1 + \epsilon \cos(\omega_{2c})}$$

(26)

【数30】

$$S'_c = \overline{I_{2c}R} = S_c + 2\alpha$$

$\alpha$ 、 $\epsilon$ 、 $\rho$ ：双曲面パラメータ

【0087】

コマ光線または周辺光線は、これ以上、面9で交差しないため、楕円における長さを計算することは非常に複雑となる。しかしながら、交点 $I_{3c}$ を計算した後、倍率をおおまかに計算することはできる。与えられた $\gamma$ 、 $\omega_{3c}$ に関する以下の式(27)を用いれば、交点 $I_{3c}$ を計算することができる

(27)

【数31】

$$\omega_{3c} = \delta_{2c} \pm \gamma$$

以下の式(28) (29)を用いると、

(28)

【数32】

$$L_c = \overline{R' \ L_{3c}}$$

(29)

【数33】

$$L'_c = \overline{L_{3c} R''}$$

周辺光線またはコマ光線におけるレマ結像光学系 (rema-imaging system) の倍率は、以下のようになる。

(30)

【数34】

$$\beta_{c\pm} = \frac{L'_c}{L_c} \cdot \frac{S'_c}{S_c}$$

【0088】

図7に示されるように、この導出は正確ではない。なぜなら、周辺光線が像面9で正確に交差しないからである。しかしながら、妥当な精度で倍率を計算することができるため、コマ誤差を最小限に抑えるには十分である。

【0089】

上述した傾斜法を用いた最適化により、表3に与えられている解が得られる。

【表3】

表1に示される光学系から始めてコマ補正された光学系

【表3】

第1の結像反射鏡5		第2の結像反射鏡7	
設計パラメータ（略記は図4～図6を参照）			
$\alpha_2$	16.328°	$\alpha_3$	7.0°
$\delta_2$	4.2034	$\delta_3$	20.26125
$\omega_2$	28.4526	$\omega_3$	34.26125
$d_2=YDE$	309.6806	$d_3=YDE$	591.0246
$z_2$	1821.0739	$z_3$	1234.3716
$a$	1787.5	$a$	1378.2578
$b$	1590.3439	$b$	1328.5797
$e$	2392.5614	$e$	366.7021
$R$	-1414.9336	$R$	-1280.6922
$\text{eps}=e/a$	1.3385	$\text{eps}=e/a$	0.2661
$K=-\text{eps}^2$	-1.7916	$K=-\text{eps}^2$	-0.0708
$ZDE=z_2-a$	33.5616	$ZDE=a-z_3$	143.8861

YDE および ZDE は、円錐部分の最も近い頂点の偏心ベクトルの y 成分および z 成分である。

#### 【0090】

表3に示されるコマ補正された光学系において、コマに起因する倍率差は、約 0.1% であり、上下のコマ光線において同一である。コマ補正後における、主光線、上下のコマ光線に関する本発明による 2 つの反射鏡結像光学系の倍率  $\beta$  に関するデータが表4に示されている。

#### 【表4】

主光線、上下のコマ光線に関する倍率  $\beta$

#### 【表4】

フィールド結像のコマ補正		
	上側コマ光線	主光線
倍率	1.0012	1.0000
	下側コマ光線	1.0012

#### 【0091】

図8には、コマ補正された結像光学系が示されている。図1～図7と同じ部材

には同一の符号が付されている。

#### 【0092】

図8. 1には、フィールド面すなわちレチクル面内の円弧状のフィールドが、直交座標  $x$  ,  $y$  とともに示されている。符号100は、円弧状フィールドの中心にあるフィールド点を示しており、符号102は、円弧状のフィールドの縁部にあるフィールド点を示している。 $y$  軸は走査方向を示しており、 $x$  軸は走査方向と垂直な方向を示している。

#### 【0093】

図8. 2には、図4～図8に示されるコマ補正された多重反射鏡光学系のフィールド点100におけるスポットダイアグラムが示されており、また、図8. 3にはフィールド点102におけるスポットダイアグラムが示されている。スポットダイアグラムは、開口数  $NA_{object}$  で光学系を通過して、しかも、例えばフィールドの中心100等の所定のフィールド点においてフィールド面すなわちレチクル面に入射する多数の光線によって生じるダイアグラムである。図4～図8で説明した光学系の開口数は  $NA_{object} = 0.05$  である。

#### 【0094】

図8. 2および図8. 3のスポットダイアグラムから明らかのように、 $y$  軸に対応している走査方向において、円弧状フィールドの縁部の鮮鋭度EDSは、コマ補正された光学系においては、2mmより小さくなる。

#### 【0095】

走査方向における光学系の縁部の鮮鋭度EDSは、例えば図8. 3に示される縁部のフィールド点102といった縁部のフィールド点に関して、 $y$  方向に最大値を有する点と、最小値を有する点との差として定義される。

#### 【0096】

本発明の結像光学系を更に最適化するためには、非点収差および球面収差を考慮しなければならない。とは言うものの、双曲線形の反射鏡および楕円形の反射鏡を用いるだけで、釣り合いのとれた光学系を見つけることができる。図9および表5は、走査方向で点収差が1mm未満に補正された光学系を示している。レマ・ブレード (rema blade) は、基本的に走査方向でのオーバースキャンを防ぐ

ことが要求されるため、ここではy方向とされている走査方向において所望の性能を得れば十分である。

【0097】

図9において、図1～図8と同じ部材には、同一の符号が付されている。図9.1および図9.2には、領域の中心点100および縁部の点102におけるスポットダイアグラムが示されている。

【0098】

図9に係る光学系の光学的なデータが表5に示されている。

【0099】

図9に係る実施形態も、1:1結像光学系であり、図8に係る実施形態の変形である。

【表5】

コマ、非点収差および球面収差に対して補正された光学系

【表5】

第1の結像反射鏡5	双曲面	第2の結像反射鏡7	橍円
$\alpha_2$	8.9395	$\alpha_3$	6.4304
$\delta_2$	1.9988	$\delta_3$	20.5977
$\omega_2$	15.8802	$\omega_3$	33.4585
$d_2=YDE$	283.1433	$d_3=YDE$	587.5428
$a_2$	5949.4780	$a_3$	1371.5001
$b$	2942.2505	$b$	1329.5276
$e$	6637.2529	$e$	336.7028
$R$	-1455.0585	$R$	-1288.8396
$\text{eps}=e/a$	1.1156	$\text{eps}=e/a$	0.2455
$K=-\text{eps}^2$	-1.2446	$K=-\text{eps}^2$	-0.0603
$ZDE$	29.4941	$ZDE$	143.7641

【0100】

レチクルを備えた像面9は、6°の入射角だけ主光線に対して傾けられている。点収差を最小にするために、物面3も傾斜させなければならない。一例において、視野絞りまたはレマ(rem)を配置しなければならない場合、物面3の最適

な傾斜角は、約  $0.9768^\circ$  である。

#### 【0101】

また、図8および図9には、第1の回転軸50および第2の回転軸52を有する結像光学系の完全な形での第1の双曲線形の結像反射鏡5と、完全な形での第2の楕円形の結像反射鏡7とが示されている。図9から明らかなように、光線は、結像光学系の反射鏡に、軸から外れて入射する。これは、2つの反射鏡の使用される領域が、2つの反射鏡の回転軸に対して軸から外れて位置していることを意味する。また、2つの回転軸間の角度 $\gamma$ が明確に示されている。

#### 【0102】

図10には、図8に示される光学系よりも更に良好に機能する結像光学系が示されている。図9の光学系の場合と同じ符号が用いられている。図10に示す光学系は、更に釣り合いのとれた最適化によって導き出されたものである。この場合の倍率 $\beta = -0.85$ である。

#### 【0103】

本発明に係る結像光学系の収差を制限しているのは、コマおよび非点収差である。

#### 【0104】

フィールドの結像のため、共役な瞳面42に近い反射鏡5が使用される。この反射鏡5は、瞳の結像に影響を与えないようになっている。焦点を含む或る面における収差に着目すると、焦点と異なるフィールド点に関しては、フィールド収差が存在する。それは、実際に非点収差によって制限される双曲線の場合である。所定の視野の大きさに対して、双曲面の傾斜角が小さくなればなるほど、フィールドの物の角度は小さくなり、したがって、非点収差が小さくなる。

#### 【0105】

瞳の結像を目的として、楕円形の反射鏡7が選択される。フィールド面7ではなく、射出瞳の中心で非点収差の無い結像が得られるようパラメータが探し出されるため、この楕円の場合は更に複雑である。2つの幾何学的な焦点とは異なる他の共役に対して軸外で用いられる場合、楕円によってコマが入り込む。そして、これはフィールド面7内で見ることができるものである。再び、このコマを減

少する方法は、傾斜を最小にして、結像光学系の第1の反射鏡5と第2の反射鏡7との間でコマの釣り合いを図ることである。

#### 【0106】

図10に示す光学系における中心のフィールド点100および縁部のフィールド点102に関するスポットダイアグラムが図10. 1の(A)および図10. 1の(B)に示されている。図10. 1の(B)から明らかのように、縁部のフィールド点における鮮銳度EDSは、走査方向と同様、走査方向と垂直な方向でも1mmよりも優れている。前記実施形態は、走査方向に対して垂直な方向、ここではx方向においても、結像光学系の要求される結像性能が得られるため、好ましい実施形態である。

#### 【0107】

図10に示す光学系のデータが、表6にCode-Vフォーマットで与えられている。

#### 〔表6〕

$\beta = -0.85$ における結像光学系のCode-V表

#### 【表6】

!	半径	次の面までの 距離	表面 タイプ			
S0	0	0	DAR;	ADE	6.0;	
S	0	-369.481	REFL			
S	0	-110.093				
S	6964.67	0	REFL	!	第1の結像反射鏡5	
	CON					
	K	-205.127				
	DAR;			ADE	-19.23631;	
			YDE	149.7571;	ZDE	50.40653
S	0	0		ADE	-36.0;	
S	0	500.9524				
S	0	0			ADE	10.0;
S	-898.3867	0	REFL	!	第2の結像反射鏡7	
	CON					
	K	-0.2302684				
	DAR;			ADE	5.464502;	
			YDE	164.4807;	ZDE	-0.638
	CIR	1000				
S	0	-797				
S	0	0	REFL			
	BEN;			ADE	-6.0;	
	CIR	500				
SI	0	0		!Reticle		
	DAR			ADE	6.0	

## 【0108】

図11には、フィールド形成部材としてのリップル・プレート200を有するEUV照明光学系と、本発明に係る結像光学系1を備えた多重反射鏡光学系とが示されている。光源12と、集光ユニット14と、円弧状フィールドのためのフィールド形成部材としてのリップル・プレート200と、フィールド反射鏡(202)とを備えた光学系は、Henry N. Chapman et al. a.a.0によって知られており、その内容は、本願に包括的に取り入れられている。

## 【0109】

図11に示される結像光学系は、図1～図10に係る結像光学系と同じである。図1～図10と同じ部材には同一符号が付されている。

## 【0110】

光がリップル・プレート200の手前で平行にされずに焦点に向かって収束するような、図11以外の構成も可能である。この場合、リップル・プレートの溝は平行ではなく円錐状である。すなわち、溝の延長部は、入射波の焦点に対応する一点に集まっている。

## 【0111】

リップル・プレート200の形状は、理論的に導出することができるが、最適化されなければならない。リップルの構成を用いた瞳の形成によって、照明光学系の後側の射出瞳の楕円形の照明が得られることになる。この照明光学系の後側の射出瞳は、レンズ光学系の入射瞳に対応する。したがって、共役な瞳面内に開口絞りが必要となる。また、この開口絞りによって、光損失が生じる。瞳の楕円率は、走査方向に垂直な円弧状フィールドに沿って横座標で増大する。光損失は、リップル・プレートを非球面状に形成することにより補償されなければならない。

## 【0112】

次に、結像反射鏡5, 7における双曲面-楕円面の組合せの2つの例が $\beta = -1.5$ で示されている。上述したように、一次の光学系は解析的に得られる。2次の光学系は、走査方向で良好な性能が得られるように最適化される。これらのパラメータは、表7～表9に与えられている。

## 〔表7〕

$\beta_{\text{rena}} = -1.5$ の光学系における一次のパラメータ

## 〔表7〕

第1の結像 反射鏡5	双曲面	第2の結像 反射鏡7	楕円面
	e23	650.00	
$f_2$	495.9484	$f_3$	721.5351
瞳結像用			
SE2	-271.5174	SE3	-1250.0000
SE2'	-600.0000	SE3'	1706.6772
$\beta_2$	2.2098	$\beta_3$	-1.3653
フィールド結像			
SR2	-482.9048	SR3	-19011.2108
SR2'	-18361.2108	SR3'	750.0000
$\beta_2$	38.0224	$\beta_3$	-0.0395

## 【0113】

上述したように、楕円面および双曲面の解析的な解にしたがって表7の光学系のコマを補正する場合には、表8および図12に示されるような光学系が得られる。図12.1および図12.2には、中心のフィールド点100および縁部のフィールド点102における点収差が示されている。

## 〔表8〕

コマ補正された光学系

## 〔表8〕

第1の結像反射鏡5		第2の結像反射鏡7	
$\alpha_2$	8.4600	$\alpha_3$	6.5000
$\delta_2$	0.4278	$\delta_3$	29.9146
$\omega_2$	16.4922	$\omega_3$	42.9146
$d_2=YDE$	137.04894	$d_3=YDE$	851.1340
$a_2$	8939.1530	$a_3$	1478.3386
$b$	2945.3024	$b$	1441.2091
$e$	9411.8682	$e$	281.9172
$R$	-970.4282	$R$	-1424.5774
$\text{eps}=e/a$	1.0529	$\text{eps}=e/a$	0.1907
$K=-\text{eps}^2$	-1.1086	$K=-\text{eps}^2$	-0.0364
$ZDE=z-a$	9.9779	$ZDE=a-z$	280.9593

## 【0114】

図13および表9に示される実施形態は、走査方向で1mm未満の点収差が得られるように最適化されている。

## 〔表9〕

最適化されたデザイン

## 【表9】

第1の結像反射鏡5		第2の結像反射鏡7	
$\alpha_2$	8.0302	$\alpha_3$	6.2127
$\delta_2$	0.1706	$\delta_3$	30.3800
$\omega_2$	16.2310	$\omega_3$	42.8054
$d=YDE$	139.9744	$d=YDE$	848.9438
$R$	-967.1380	$R$	-1415.0130
$K=-\text{eps}^2$	-1.1933	$K=-\text{eps}^2$	-0.04913
$ZDE=z-a$	11.3839	$ZDE=a-z$	284.2995

## 【0115】

以下の段落では、物面3に矩形フィールド等の任意のフィールドを有する照明光学系について説明する。そのような光学系の概略的な構成が図14および図15に示されている。これら二つの例において、結像光学系により、矩形フィール

ド300が円弧状のフィールド302に結像される。したがって、図16に示されるような斜入射形フィールド反射鏡306を用いて結像する際に生じる変形を補償するのに、円弧状のレマ・ブレードまたは視野絞り304が適用されなければならない。また、図16には、像面すなわちレマ面9内のクリッピング308が示されている。

#### 【0116】

図14および図15に示される光学系は、少なくとも物面3と、第1の直入射形の結像反射鏡5と、円弧状のフィールドを像面9内に形成するための少なくとも一つの斜入射形の反射鏡306とを備えている。

#### 【0117】

一つの斜入射形の反射鏡306を有する光学系の具体例が図17に示されている。リングフィールドにおいて所望の方向を得るために、負の光学的倍率を有するフィールドレンズが必要となる。円弧状のフィールドの半径は約138mmであるが、第1の結像反射鏡5の光学的倍率および入射角によって、略いかなる所望のフィールド半径をも得ることができる。表10には、そのような光学系に関するデータが与えられている。ここで、倍率に関しては、 $\beta_{image} = -1.2$ を選んだ。

〔表10〕

【表10】

第1の結像 反射鏡5	楕円面	第2の結像 反射鏡7	双曲面
$\alpha_1$	12.0	$\alpha_2$	78.0
	e23	500.00	
$f_1$	382.1450	$f_2$	-868.3020
フィールド結像			
SE1	-609.7360	SE2	523.8000
SE1'	1023.8000	SE2'	1320.2146
$\beta_1$	-1.6791	$\beta_2$	2.5205
瞳結像			
SR1	-810.6258	SR2	222.9651
SR1'	722.9651	SR2'	300.0000
$\beta_1$	-0.8919	$\beta_2$	1.3455
面のパラメータ			
$\delta_1$	27.9820	$\delta_2$	14.2042
$\omega_1$	51.9820	$\omega_2$	38.2042
e	264.2854	e	434.1220
d	480.3602	d	323.9526
b	772.8280	b	172.8956
a	816.7680	a	398.2073
p=R	-731.2519	p=R	75.0687
eps	0.3236	eps	1.0902
K	-0.1047	K	-1.1885
z	639.8277	z	845.7300

## 【0118】

図17. 1には、アーチ状のフィールドが示されている。矩形の開口は、光学系を通ってレチクル面まで光線追跡されている。このとき、円弧状のフィールドは、斜入射形の反射鏡306における斜入射反射に起因して生じるものである。しかしながら、この最適化されていない例において、スポットの直径は約10mである。一つの直入射形の反射鏡および一つの斜入射形の反射鏡を用いた結像に起因して、コマがかなり入り込み、これを効果的に低減することができない。

## 【0119】

第2の直入射形反射鏡7を挿入することによって、コマを減少することができ

る。その一例が図18に示されており、対応するデータが表11に与えられている（ここで、 $\beta_{\text{image}} = -1.272$ を用いた）。レチクルフィールドでの照明が図18.1に示されている。この光学系は、反射角および屈折角を適切に選択するという単純で一途な最適化により、先に述べられた光学系の実施形態に比べて遜色のない程度まで、更に最適化される可能性を有している。

[表11]

[表11]

第1の結像 反射鏡5		橢円面	第2の結像 反射鏡7	双曲面	斜入射形 反射鏡	双曲面
$\alpha_0$	8.0	$\alpha_1$		11.0	$\alpha_2$	12.0
	e01	450.0000		e12	500.000	
$f_0$	686.2745	$f_1$		1055.0641	$f_2$	-868.302
瞳結像						
SE0	-700.0360	SE1		3455.9	SE2	523.8
SE0'	35000.0	SE1'		1023.8	SE2'	1320.2146
$\beta_0$	-50.0	$\beta_1$		0.0296	$\beta_2$	2.5205
フード・結像						
SR0	-914.8405	SR1		2296.8290	SR2	222.9651
SR0'	2746.8290	SR1'		722.9651	SR2'	300.0
$\beta_0$	-3.0025	$\beta_1$		0.3148	$\beta_2$	1.3455
$\delta_0$	7.6903	$\delta_1$		21.3810193242	$\delta_2$	14.2042
$\omega_0$	23.6903	$\omega_1$		0.6189806758	$\omega_2$	38.2042
b	1569.789	b		5838.1891964484	b	172.8956
a	1830.8348	a		16763.1000000000	a	398.2073
p=R	-1345.9639	p=R		-2033.3024973619	p=R	-75.0687
eps	0.5146	eps		1.0589128053	eps	1.0902
K	-0.2448	K		-1.1212963293	K	-1.1885
e	942.1881	e		17750.6612469375	e	434.122
d	367.5763	d		373.24505478583	d	323.9526
z	1779.9356	z		-16797.3226034857	z	845.73

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る結像光学系および結像光学系の物面内の円弧状フィ

ールドを有する照明光学系全体を示す図である。

【図2】 本発明に係る結像光学系および結像光学系の物面内の円弧状フィールドを有する照明光学系全体を示す図である。

【図3】 本発明による照明光学系の概略図である。

【図4】 光学系のコマ補正の導出のために使用される省略記号が付された本発明の照明光学系の概略図である。

【図5】 光学系のコマ補正の導出のために使用される省略記号が付された本発明の照明光学系の概略図である。

【図6】 光学系のコマ補正の導出のために使用される省略記号が付された本発明の照明光学系の概略図である。

【図7】 光学系のコマ補正の導出のために使用される省略記号が付された本発明の照明光学系の概略図である。

【図8】 コマ補正された光学系を詳細に説明するための図である。

【図8. 1】 像面内の円弧状フィールドを示す図である。

【図8. 2】 図8の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図8. 3】 図8の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図9】 コマ、非点収差、球面収差の補正および1.0の倍率を有する光学系を詳細に説明するための図である。

【図9. 1】 図9の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図9. 2】 図9の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図10】 倍率-0.85のコマ、非点収差、球面収差の補正がなされた光学系を詳細に説明するための図である。

【図10. 1】 図10の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図11】 本発明の結像光学系と、フィールド形成光学素子としてのリッ

ブル・プレートとを有するEUV照明光学系を示す図である。

【図12】 倍率が $\beta = -1.5$ のコマ補正された結像光学系を詳細に説明するための図である。

【図12.1】 図12の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図12.2】 図12の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図13】  $\beta = -1.5$ の倍率を有するコマ、非点収差、球面収差の補正がなされた結像光学系を詳細に説明するための図である。

【図13.1】 図13の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図13.2】 図13の光学系の像面内のスポットダイアグラムを示す図である。

【図14】 フィールド形成光学素子として一つの直入射形の反射鏡および一つの斜入射形の反射鏡を備えた結像光学系の概略図である。

【図15】 フィールド形成光学素子として二つの直入射形の反射鏡および一つの斜入射形の反射鏡を備えた結像光学系の概略図である。

【図16】 視野絞りまたはレマ・ブレードを有する物面および像面内のフィールドを示す図である。

【図17】 図15の光学系を詳細に説明するための図である。

【図17.1】 図17の光学系のスポットダイアグラムを示す図である。

【図18】 図16の光学系を詳細に説明するための図である。

【図18.1】 図18の光学系のスポットダイアグラムを示す図である。

#### 【符号の説明】

1 ……結像光学系

3 ……物面（フィールド面）

3' ……フィールド面の虚像

5 ……第1の結像反射鏡

9 ……像面

1 0 ……射出瞳  
1 0 ' ……射出瞳の虚像  
1 2 ……光源  
1 4 ……集光器  
1 6 ……エタンデュを増加させるための手段  
1 8 ……第1のフィールド形成反射鏡（フィールド形成光学素子）  
2 0 ……第2のフィールド形成反射鏡（フィールド形成光学素子）  
3 0 ……格子素子を有する第1の反射鏡  
3 2 ……格子素子を有する第2の反射鏡  
4 0 ……射出瞳と共に第1の面  
4 2 ……射出瞳と共に第2の面  
5 0 ……第1の結像反射鏡の回転軸  
5 2 ……第2の結像反射鏡の回転軸  
5 4 ……第1の結像反射鏡の中心  
5 6 ……第1の結像反射鏡の頂点  
5 8 ……第2の結像反射鏡の中心  
6 0 ……第2の結像反射鏡の頂点  
6 2 ……主光線  
7 0 ……下側のコマ光線  
1 0 0 ……円弧状フィールドの中心のフィールド点  
1 0 2 ……円弧状フィールドの縁部のフィールド点  
2 0 0 ……リップル・プレート  
3 0 0 ……矩形フィールド  
3 0 2 ……アーク状フィールド  
3 0 4 ……視野絞り  
3 0 6 ……斜入射形の反射鏡  
3 0 8 ……クリッピング  
e P O ……出口面に対して共役な第1の面と第1の反射鏡との間の距離  
e 0 1 ……第1のフィールド形成反射鏡と第2のフィールド形成反射鏡との間

の距離

EDS ……縁部の鮮銳度

SE1' ……第2のフィールド形成反射鏡と射出瞳に対して共役な第2の面との間の距離

SR1' ……第2のフィールド形成反射鏡と物面との間の距離

SE2 ……射出瞳に対して共役な第2の面と第1の結像反射鏡との間の距離

x ……走査方向に対して垂直な方向

y ……走査方向

$\gamma$  ……回転軸 50, 52 間の角度

$f_i$  ……光学素子  $i$  の焦点距離

$\alpha_i$  ……反射鏡  $i$  の面の法線に対する主光線の入射角

$\beta_{\text{pupi}}$  ……共役な瞳面同士間の瞳の結像倍率

$\beta_{\text{field}}$  ……共役なフィールド面とレチクル面との間のフィールド結像倍率

$\beta_i$  ……瞳の結像もしくはフィールド結像における（状況による）、一つの光学素子での中間結像のための倍率

R ……フィールド半径

S ……作動距離

SEi ……物体側上の反射鏡  $i$  間の入射瞳の結像に対する作動距離

SEi' ……像側上の反射鏡  $i$  間の入射瞳の結像に対する作動距離

SRi ……物体側上の反射鏡  $i$  間のフィールド結像に対する作動距離

SRi' ……像側上の反射鏡  $i$  間のフィールド結像に対する作動距離

$e_{ij}$  ……光学素子  $i$  と光学素子  $j$  との間の距離

$\omega_i$  ……入射する主光線と光学素子  $i$  の回転軸との間の角度

$\delta_i$  ……反射する主光線と光学素子  $i$  の回転軸との間の角度

a, b, e,

$\epsilon, \rho, K$  ……各反射鏡における円錐曲線パラメータ

$d_i$  ……回転軸に対する主光線と反射鏡  $i$  との交点の横方向の位置

$z_i$  ……円錐曲線の中心に対する主光線と反射鏡  $i$  との交点の縦方向の位置

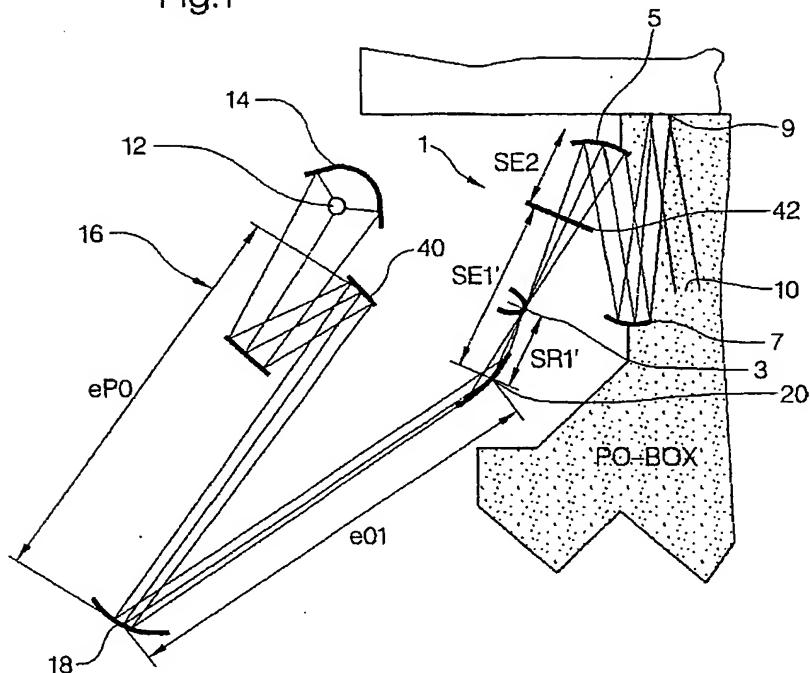
$\beta_{c\pm}$  ……上下のコマまたは周辺光線における倍率

Y D E …光学設計プログラムにおける通常の偏心ベクトル成分（例えば CODE -V ）

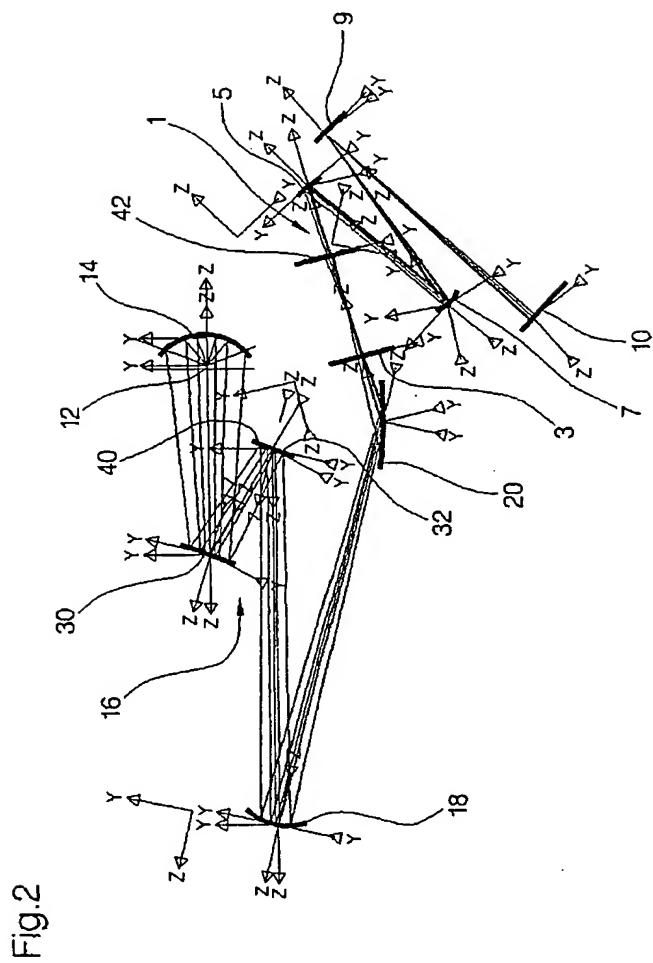
Z D E …光学設計プログラムにおける通常の偏心ベクトル成分（例えば CODE -V ）

【図 1】

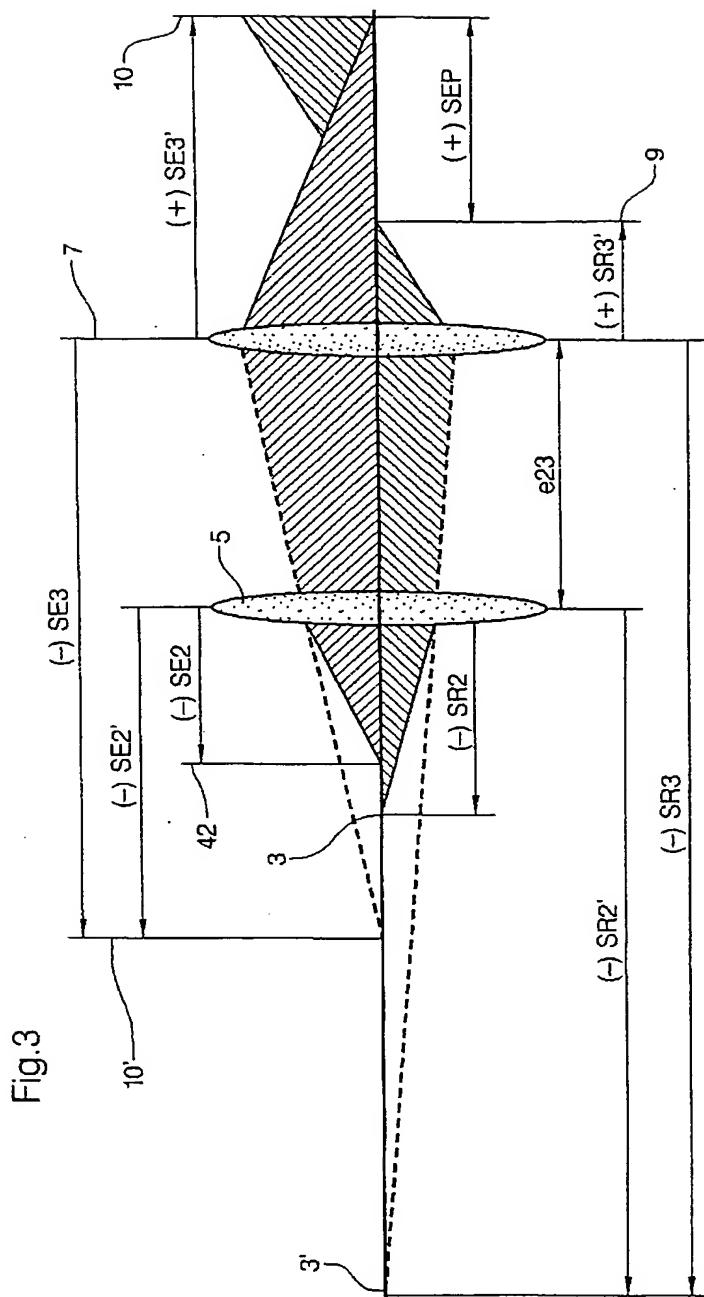
Fig.1



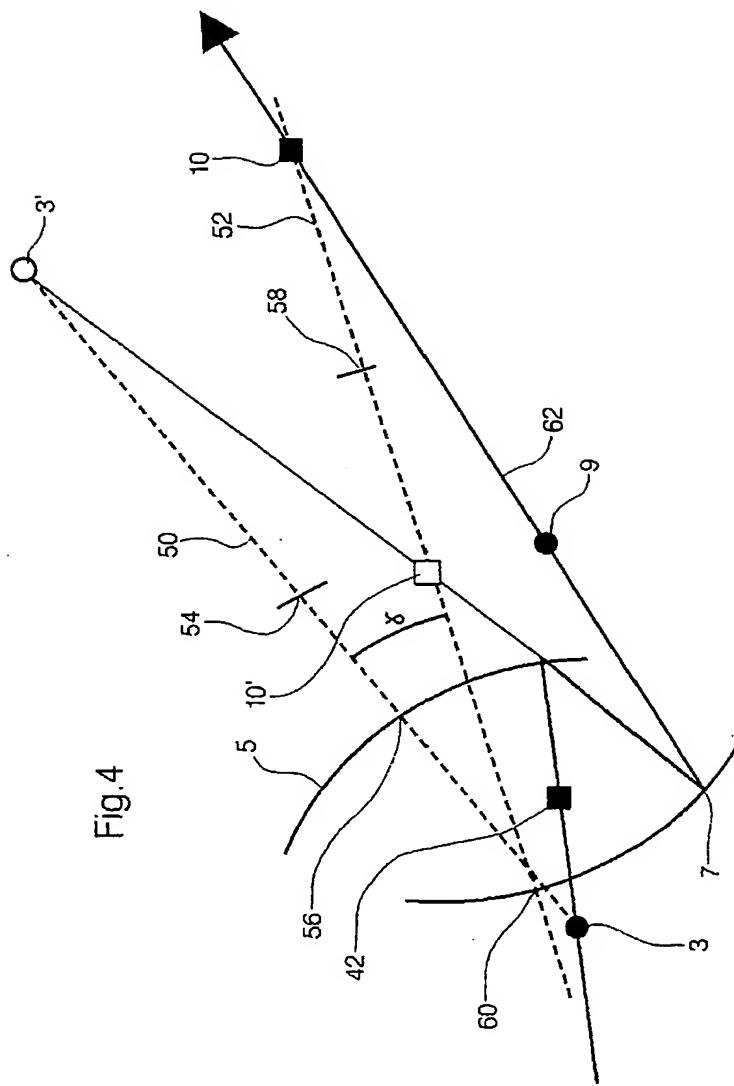
【図2】



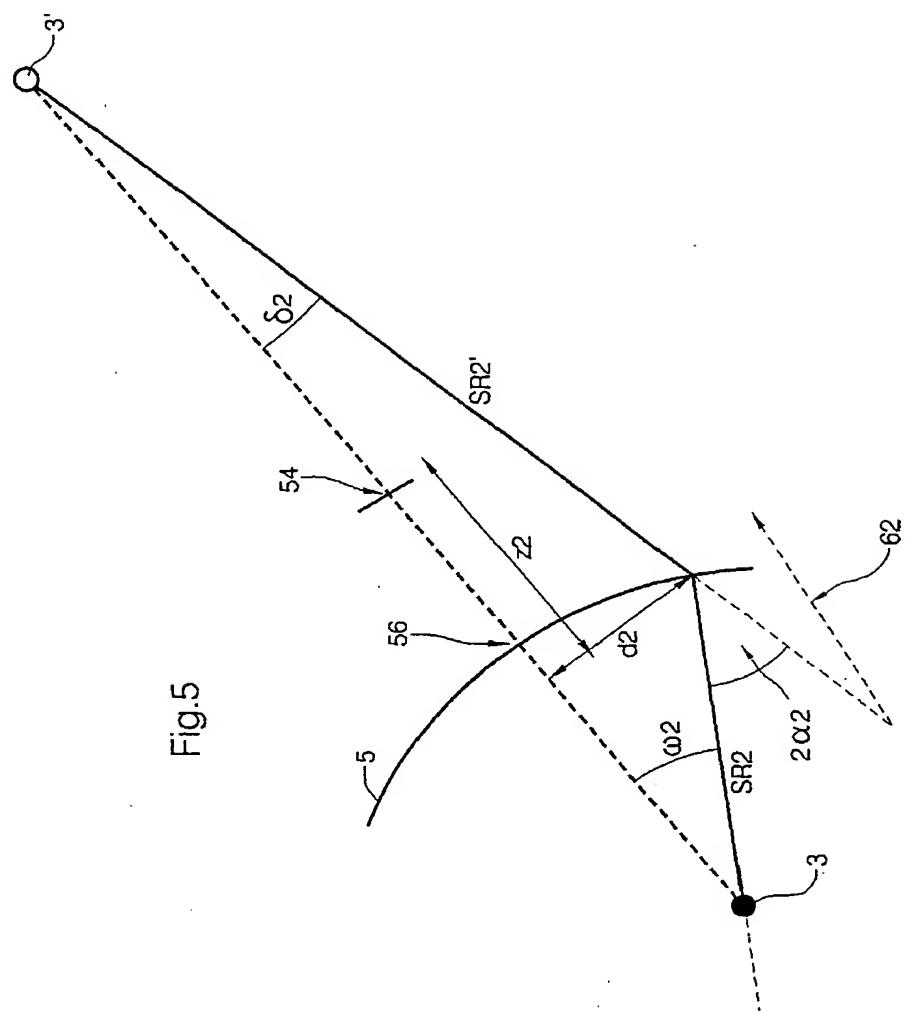
【図3】



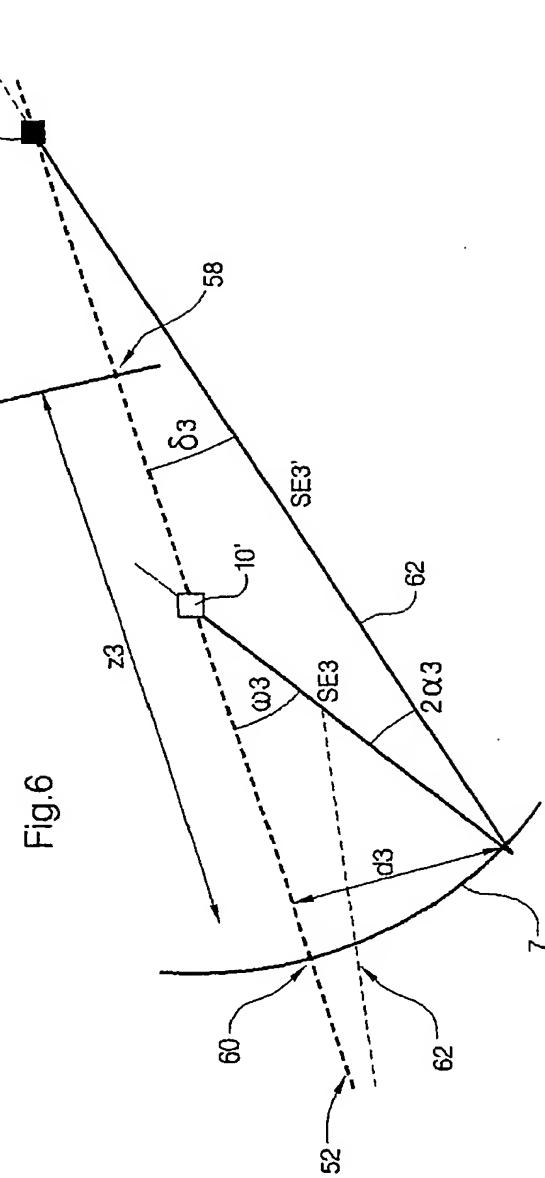
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

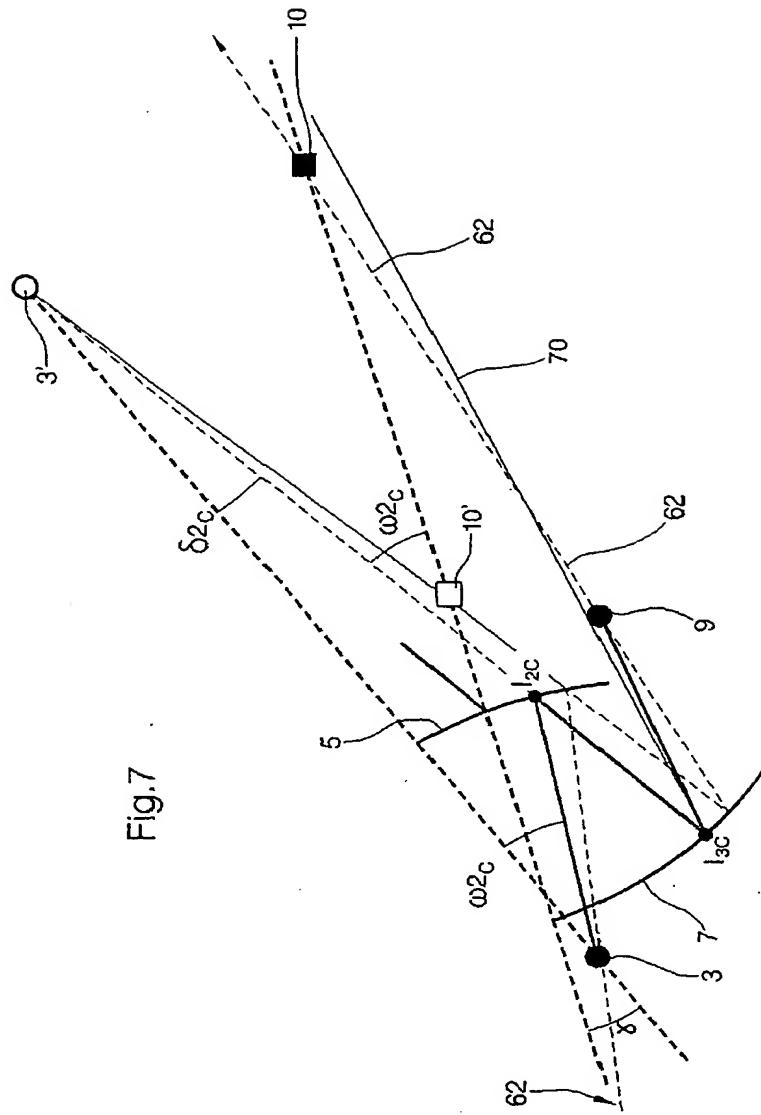
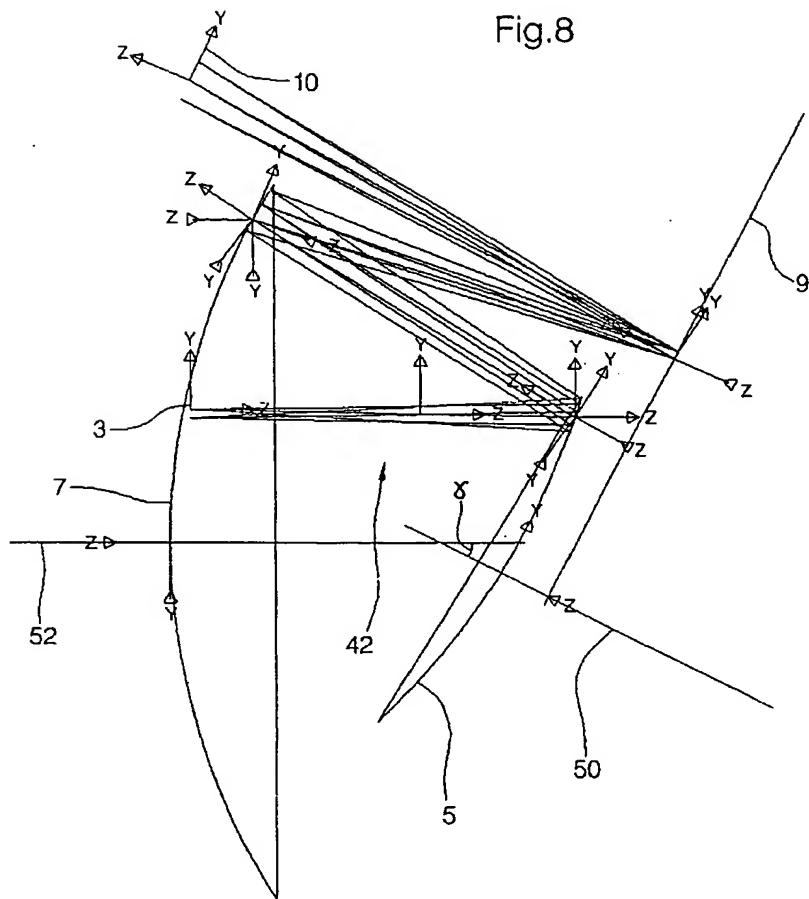
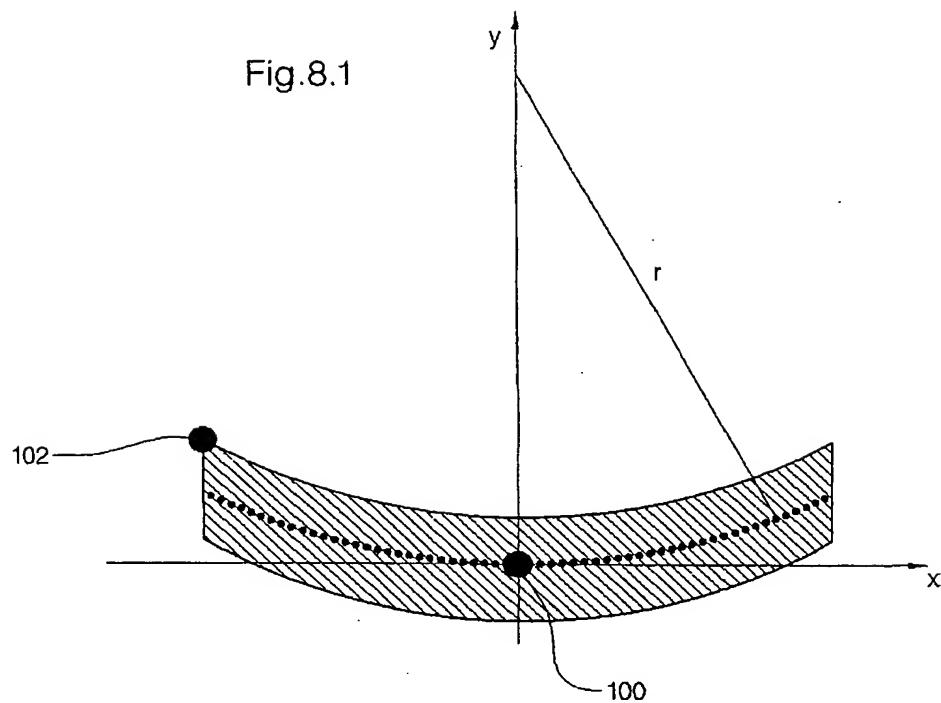


Fig. 7

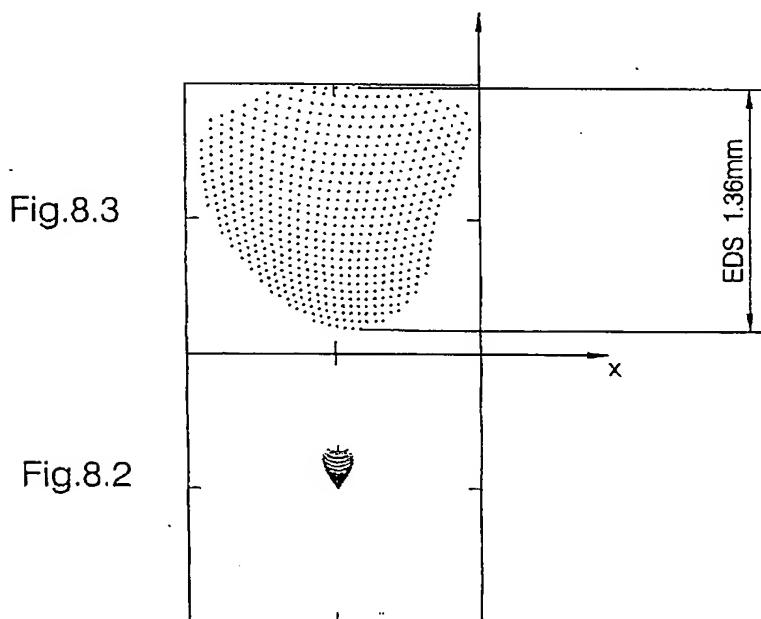
【図8】



【図8. 1】



【図8. 2】



【図8.3】

Fig.8.3

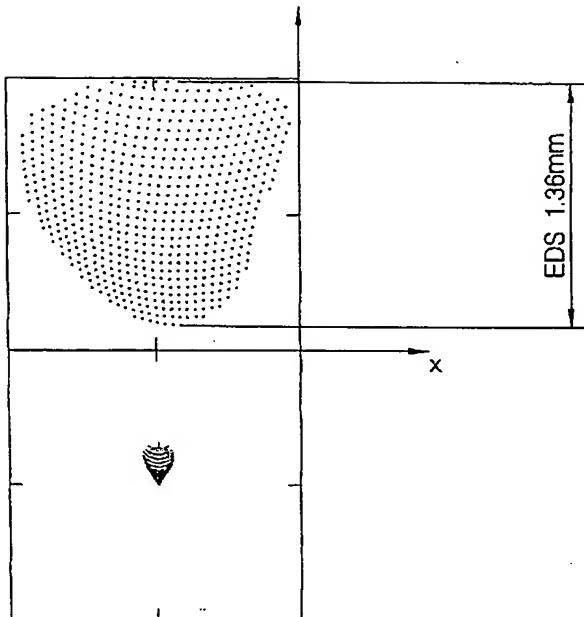
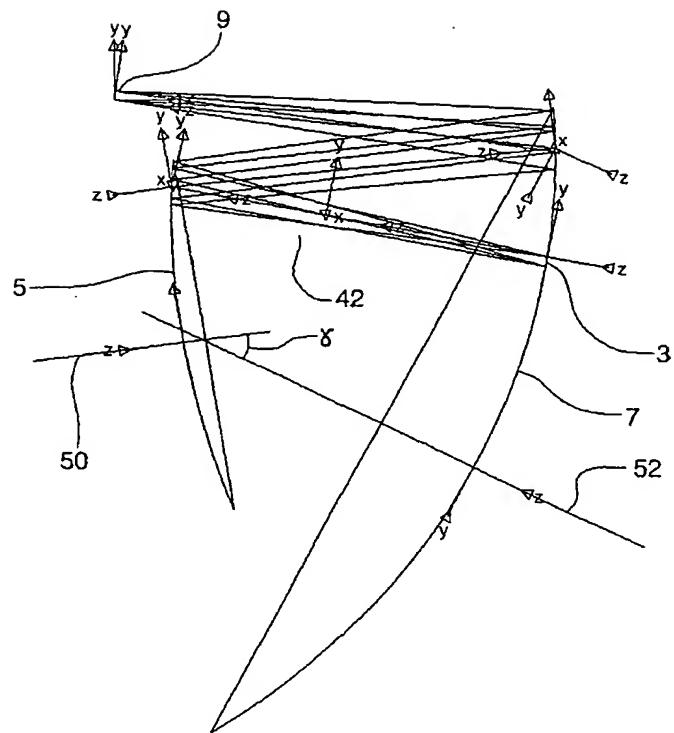


Fig.8.2

【図9】

Fig.9



【図9. 1】

Fig.9.2

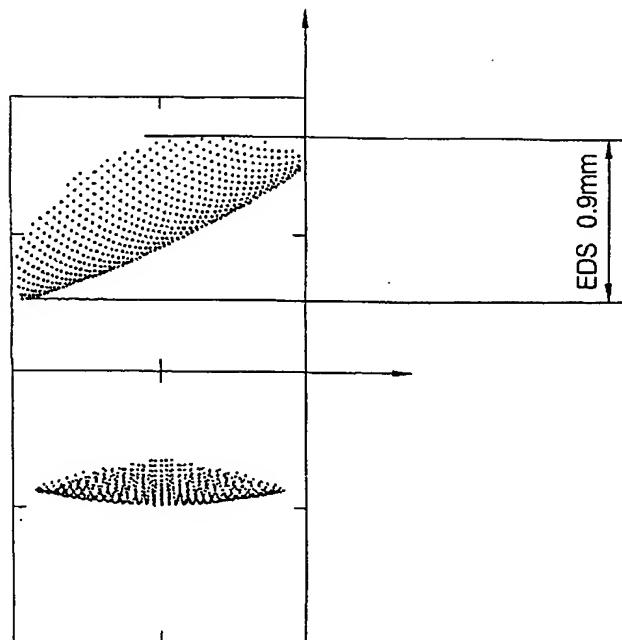


Fig.9.1

【図9. 2】

Fig.9.2

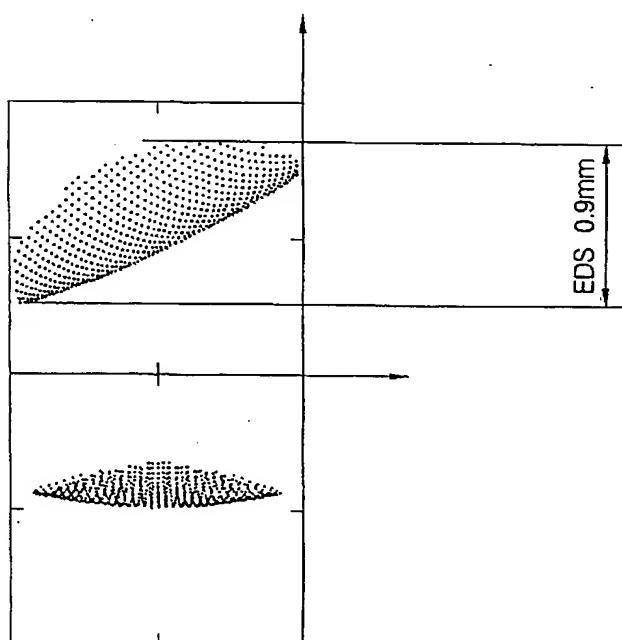
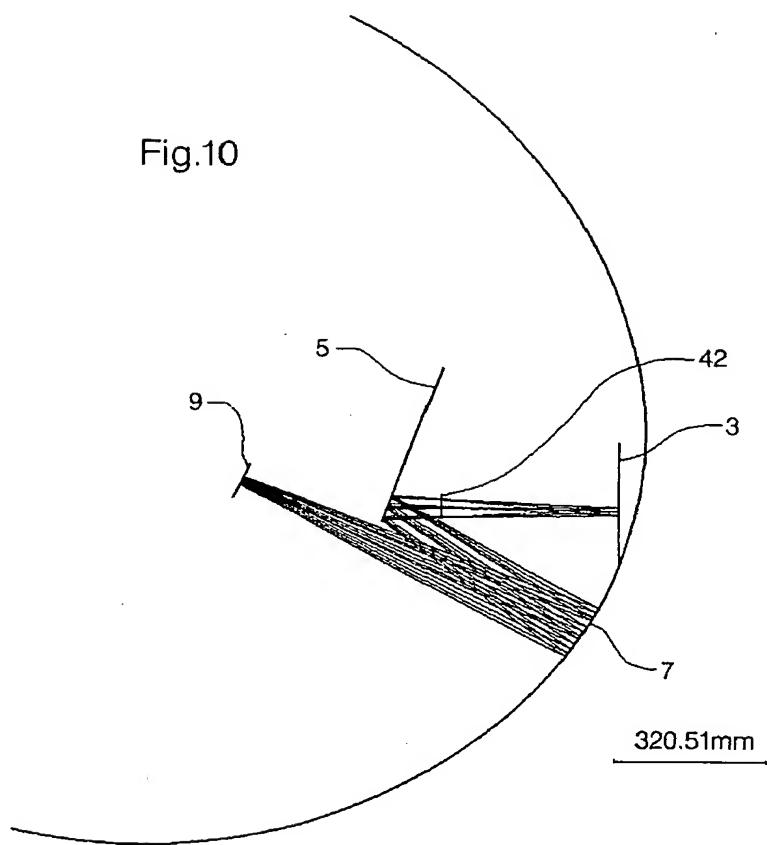


Fig.9.1

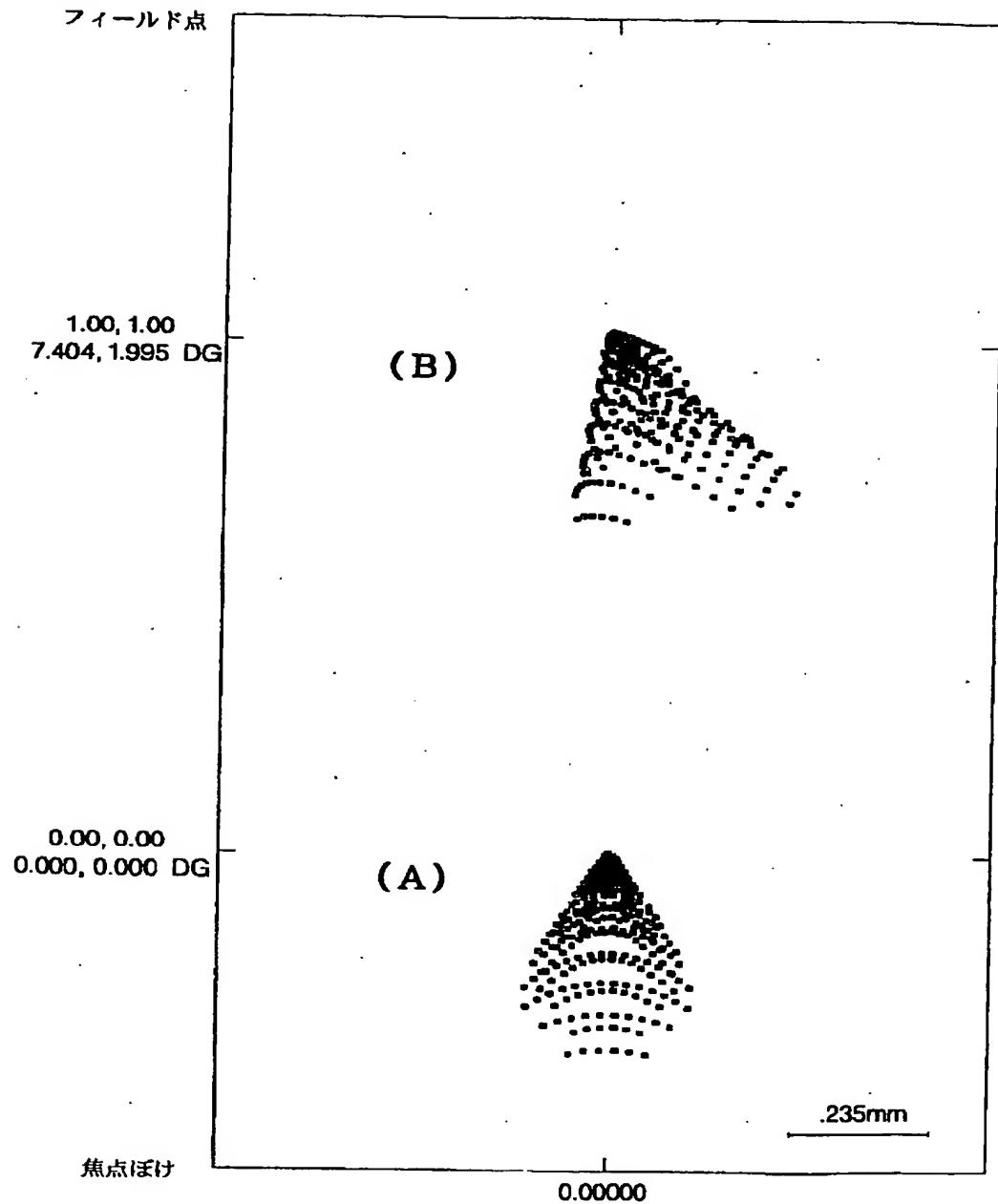
【図10】

Fig.10



【図10.1】

フィールド点



【図11】

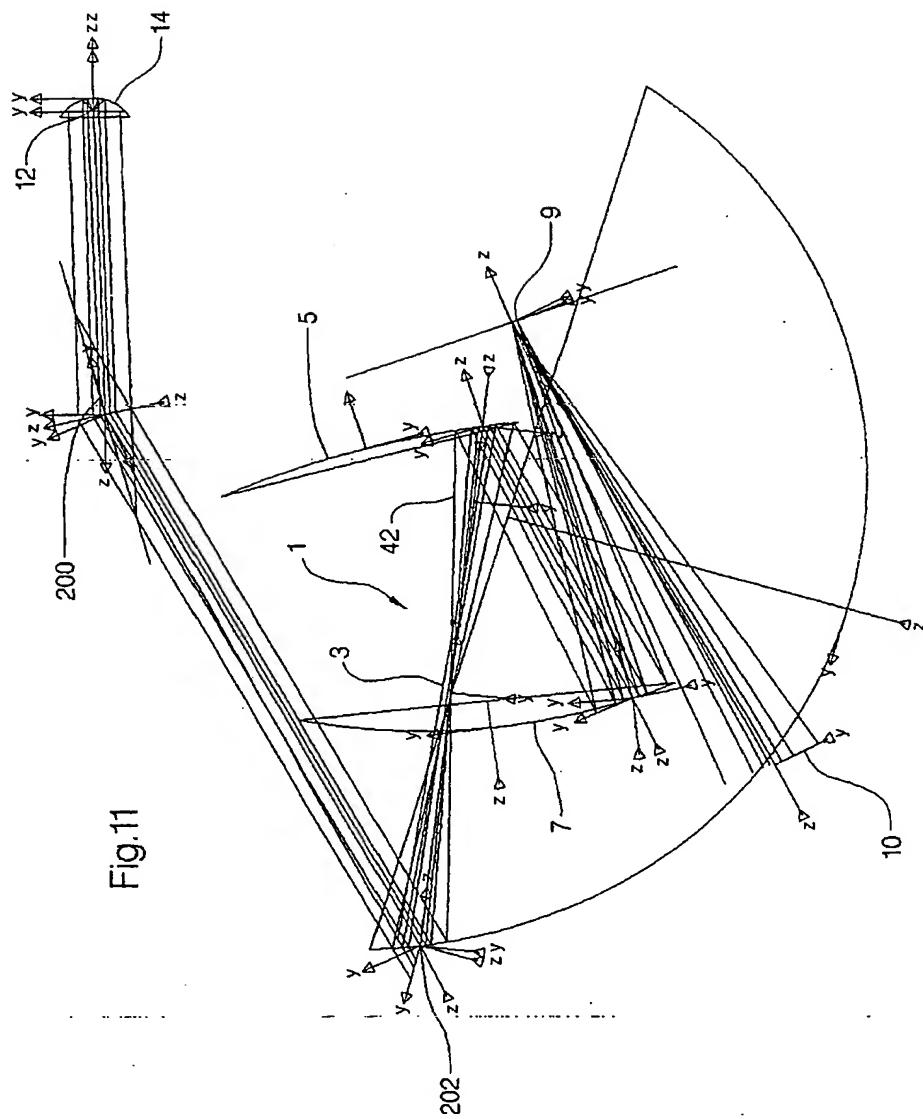
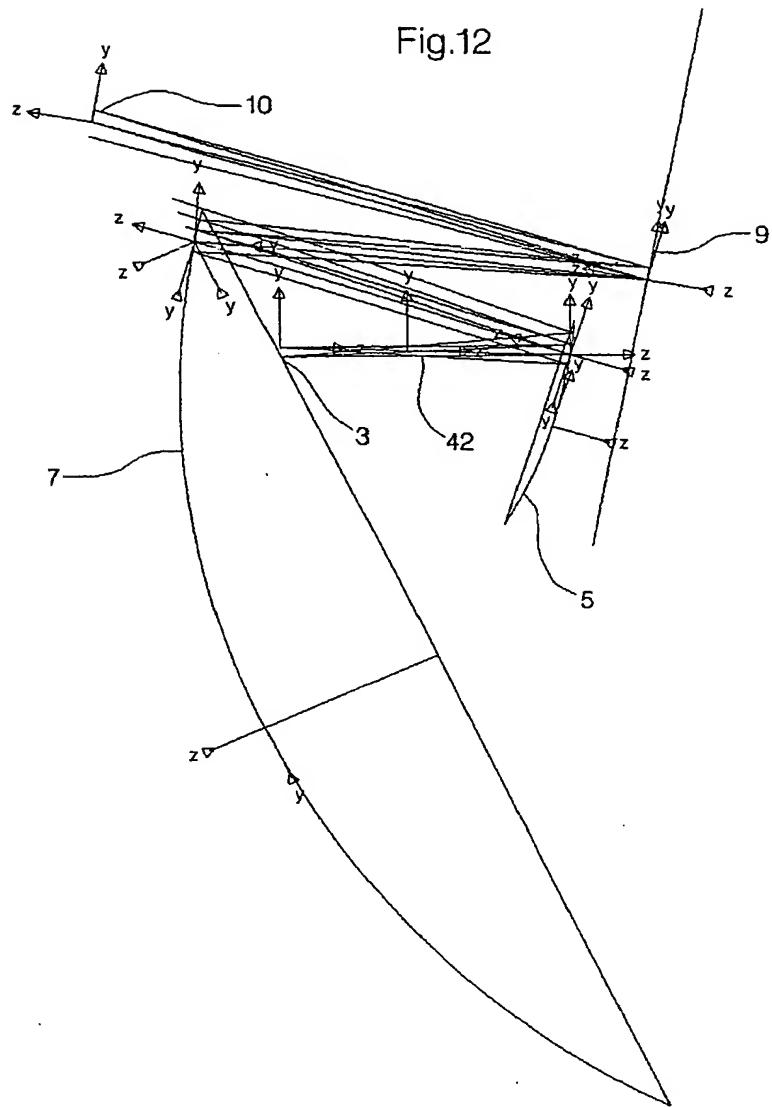


Fig. 11

【図12】

Fig.12



【図12.1】

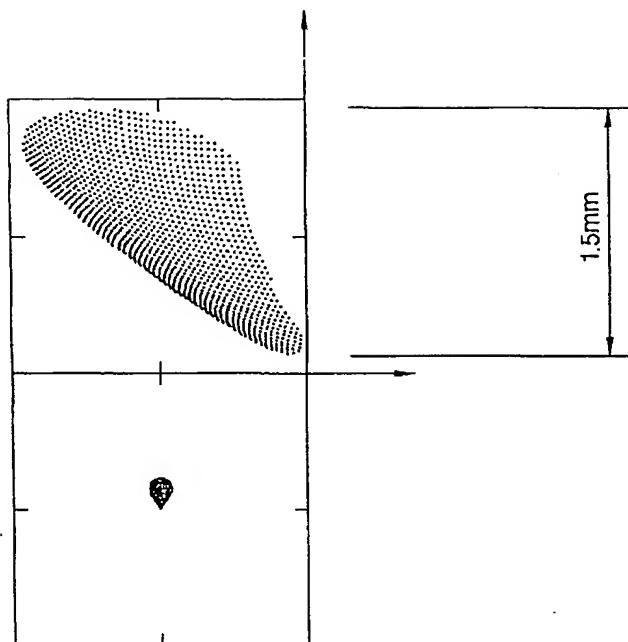


Fig.12.2

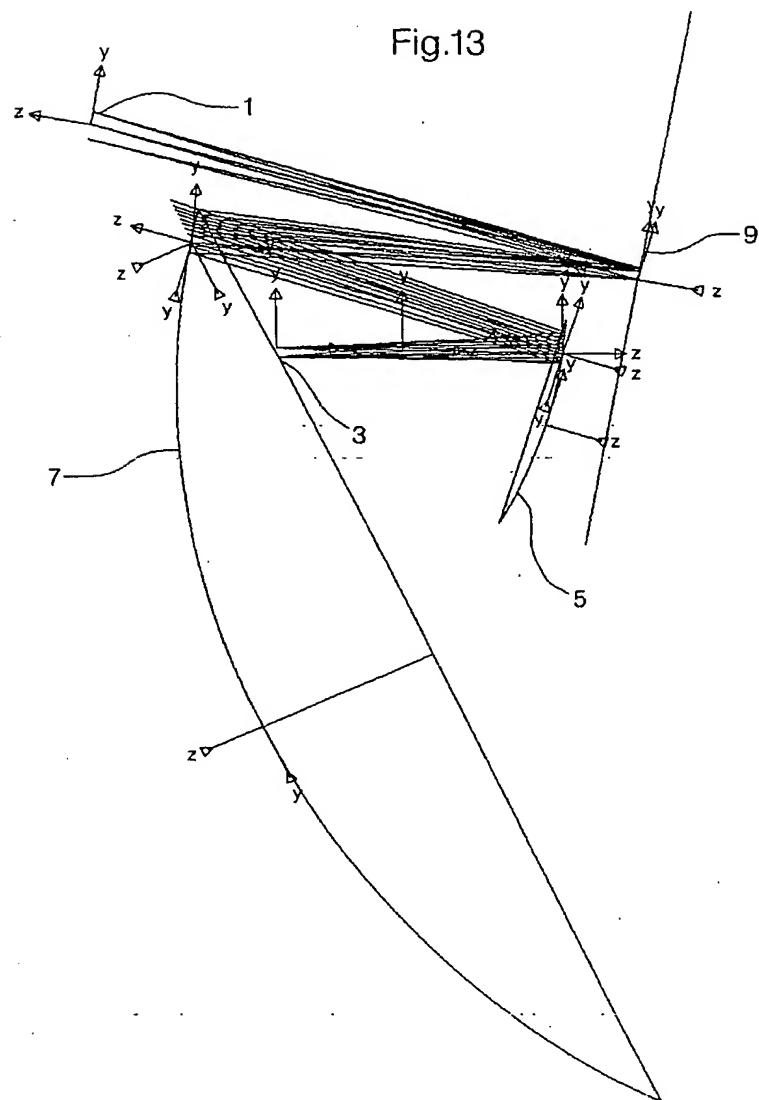
Fig.12.1

【図12.2】

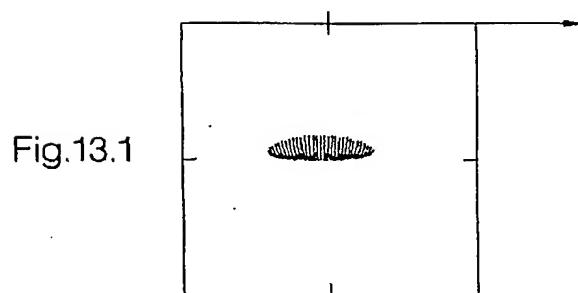
Fig.12.2

Fig.12.1

【図13】



【図13.1】



【図13.2】

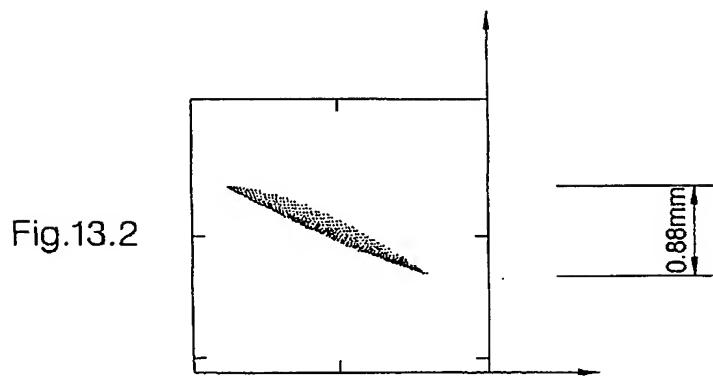


Fig.13.2

【図14】

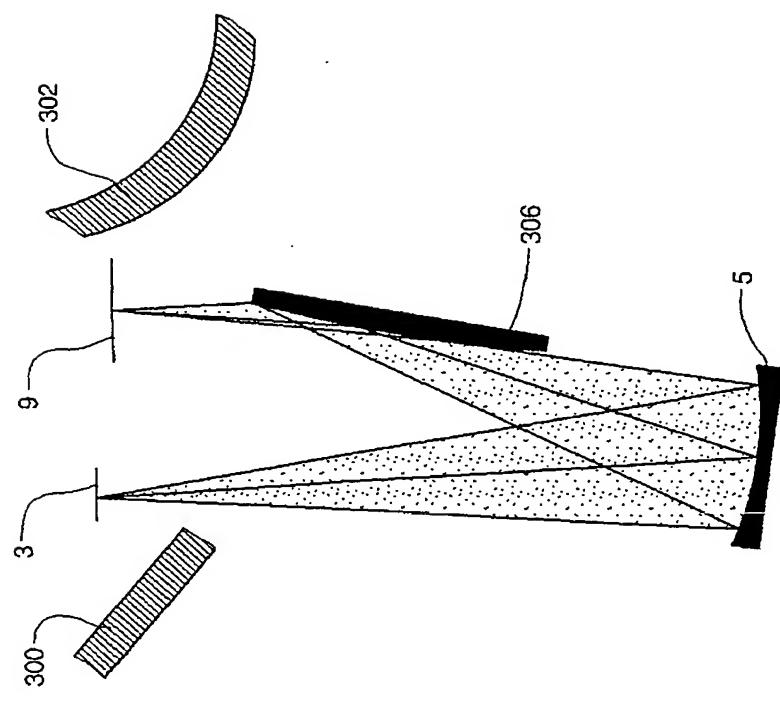
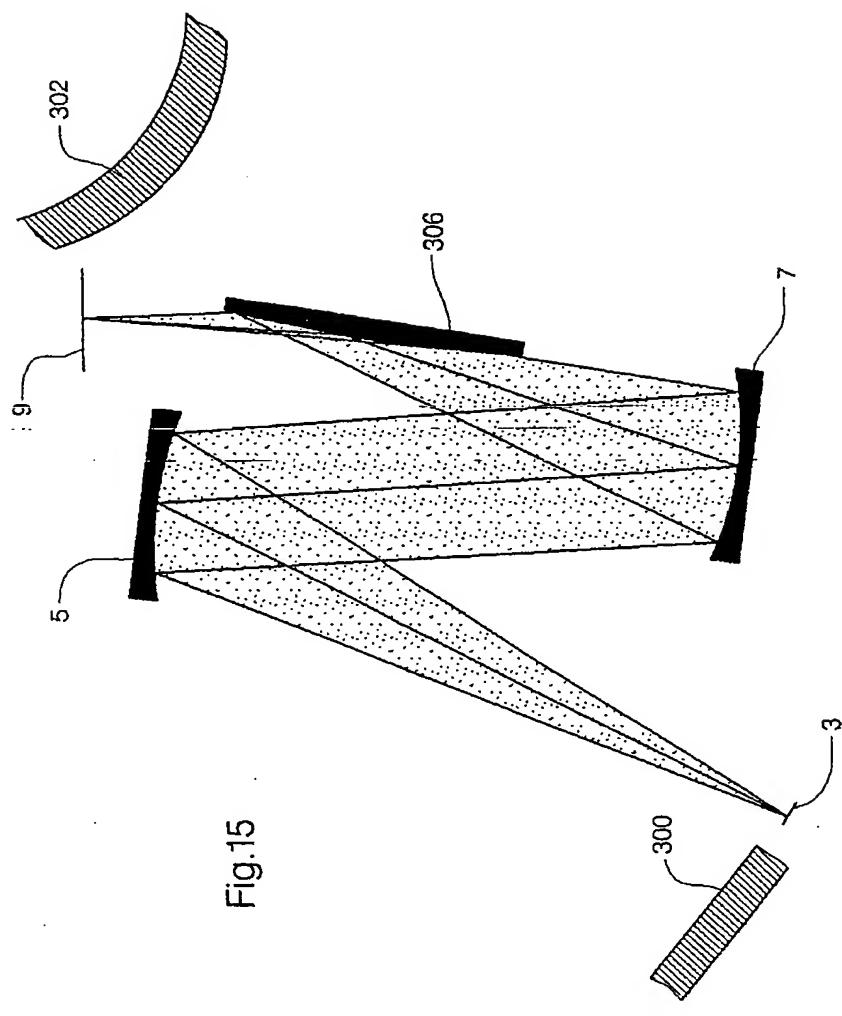


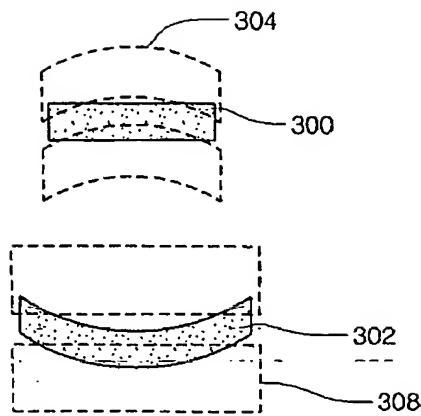
Fig.14

【図15】



【図16】

Fig.16



【図17】

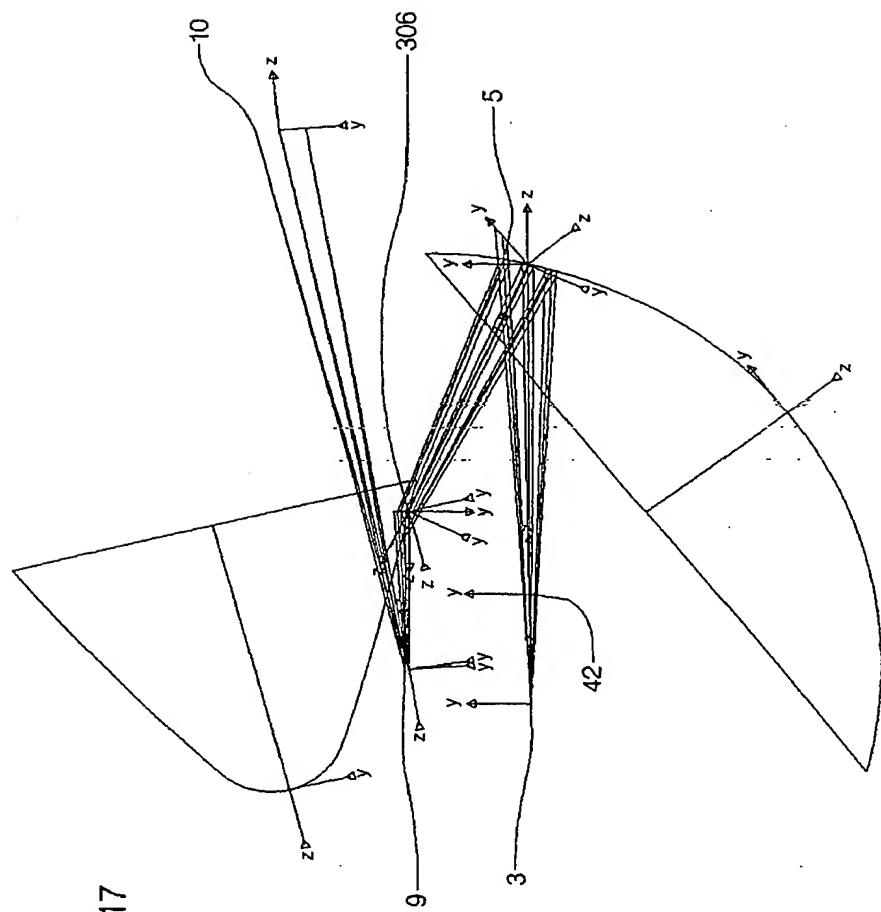
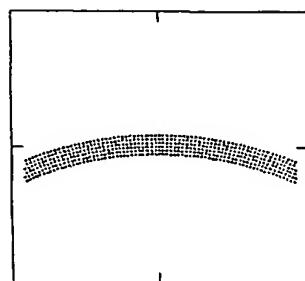


Fig.17

【図17. 1】

Fig.17.1



【図18】

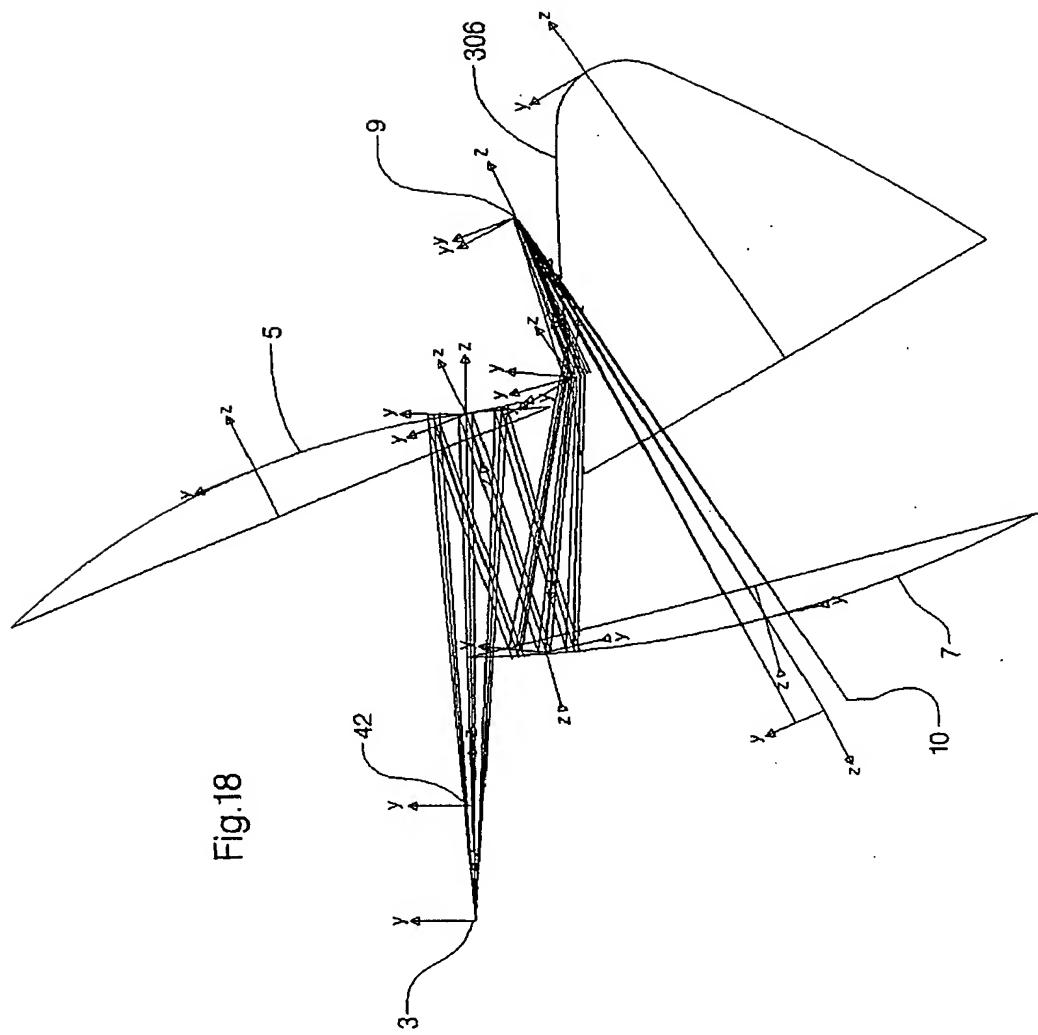
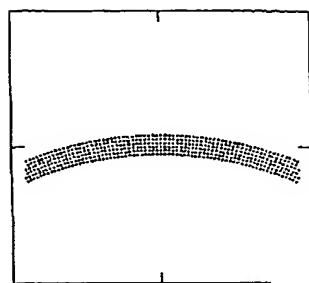


Fig.18

【図18.1】

Fig.18.1



【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成13年7月12日(2001.7.12)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 193nm以下の波長を用いた照明光学系用の多重反射鏡光学系であって、

結像光学系を備え、前記結像光学系は、少なくとも第1の反射鏡(5)および第2の反射鏡(7)と、

物面(3)と、

該結像光学系によってオブジェクトの像がその中に形成される像面(9)と、前記像面(9)内の円弧状のフィールドとを備え、該円弧状フィールドの中央での半径方向によって走査方向が決められ、

前記結像光学系の少なくとも前記第1の反射鏡(5)および前記第2の反射鏡(7)は、前記円弧状フィールドの縁部のフィールド点に関して前記像面内のスポットダイアグラムの点の前記走査方向における最大値と最小値の差として定義される鮮鋭度が、前記走査方向で5mmよりも小さくなるような位置および形状をもって、前記結像光学系の光路内に配置され、

前記結像光学系において前記物面(3)から前記像面(9)へと進む光線は、前記第1の反射鏡(5)および前記第2の反射鏡(7)に入射して、これらの反射鏡の第1および第2の使用領域を形成する、

多重反射鏡光学系において、

前記光線は、反射鏡の面の法線に対して30°以下または60°以上の複数の入射角を有して前記第1の反射鏡(5)および前記第2の反射鏡(7)に入射することを特徴とする多重反射鏡光学系。

【請求項2】 前記像面内の前記円弧状フィールドの縁部の前記鮮鋭度が、

2mmよりも小さく、好ましくは1mmよりも小さくされていることを特徴とする請求項1に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項3】 前記複数の入射角が反射鏡の面の法線に対して20°以下または70°以上とされていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項4】 前記結像光学系の少なくとも前記第1の反射鏡(5)および前記第2の反射鏡(7)は、前記円弧状フィールドの縁部のフィールド点に関して前記像面内のスポットダイアグラムの点の前記走査方向に垂直な方向における最大値と最小値の差として定義される鮮鋭度が、前記走査方向と垂直な方向で5mmよりも小さく、好ましくは2mmよりも小さく、特に好ましくは1mmよりも小さくなるような位置および形状をもって、前記結像光学系の前記光路内に配置されていることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項5】 前記物面(3)内の前記オブジェクトが円弧状フィールドであることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項6】 前記結像光学系によって結像された前記フィールドの横倍率は1と異なるものにされていることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項7】 前記結像光学系が非軸対称系であることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項8】 前記物面(3)内もしくはその近傍に、視野絞りが配置されていることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項9】 前記結像光学系は、射出瞳(10)を備え、該射出瞳(10)に対して共役な面(42)内もしくはその近傍に、開口絞りが配置されていることを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項10】 前記結像光学系が射出瞳(10)を備え、該射出瞳(10)

) に対して共役な面 (42) の近傍に前記第1の反射鏡が配置されていることを特徴とする請求項1ないし請求項9のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項1\_1】 前記第1の反射鏡および前記第2の反射鏡のいずれか一方もしくは双方は、非球面反射鏡であることを特徴とする請求項1ないし請求項0のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項1\_2】 前記第1の反射鏡(5)は、概略双曲線形状または概略楕円形状の凹面反射鏡であり、第1の回転軸(50)を規定していることを特徴とする請求項1ないし請求項1\_1のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項1\_3】 前記第2の反射鏡(7)は、概略双曲線形状または概略楕円形状の凹面反射鏡であり、第2の回転軸(52)を規定していることを特徴とする請求項1ないし請求項1\_2のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項1\_4】 前記第1の反射鏡(5)および前記第2の反射鏡(7)は、前記結像光学系を通って進む光線が前記第1および第2の反射鏡に入射する使用領域を備え、該使用領域は、前記第1および第2の回転軸に対して軸外に配置されていることを特徴とする請求項1\_2または請求項1\_3に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項1\_5】 前記第1の回転軸(50)と前記第2の回転軸(52)とが角度 $\gamma$ を成しており、

前記第1の反射鏡および前記第2の反射鏡は、前記フィールドの中心および前記射出瞳の中心を通って進む主光線に関して第1の倍率を規定し、前記フィールドの中心および前記射出瞳の上縁を通って進む上側コマ光線に関して第2の倍率を規定し、前記フィールドの中心および前記射出瞳の下縁を通って進む下側コマ光線に関して第3の倍率を規定し、前記第1の回転軸(50)と前記第2の回転軸(52)との間の角度 $\gamma$ は、前記第1、第2、第3の倍率がほぼ同一となるように選択されていることを特徴とする請求項1\_2ないし請求項1\_4のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項1\_6】 193 nm以下の波長によるリソグラフィのための照明光学系用の多重反射鏡光学系であって、

結像光学系を備え、前記結像光学系は、

物面(3)と、

該結像光学系によってオブジェクトの像がその中に形成される像面(9)と、

前記像面(9)内の円弧状のフィールドとを備えてなる、

多重反射鏡光学系において、

前記結像光学系は、少なくとも直入射形の反射鏡(5, 7)と、前記像面(9)  
に円弧状のフィールドを形成するフィールド形成光学素子とを備え、

前記フィールド形成光学素子は、少なくとも反射鏡を備えていることを特徴とする多重反射鏡光学系。

【請求項17】 前記物面内の前記オブジェクトが任意のフィールドであることを特徴とする請求項16に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項18】 前記物面内の前記フィールドが矩形のフィールドとされ、前記矩形のフィールドは、前記フィールド形成光学素子によって、前記像面内の円弧状フィールドに形成されるように構成されていることを特徴とする請求項17に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項19】 前記斜入射形の反射鏡は、負の光学的倍率を有していることを特徴とする請求項16ないし請求項18のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項20】 前記フィールド形成光学素子は、正の光学的倍率を有する第1の斜入射形の反射鏡と、フィールドを回転させるための第2の斜入射形の反射鏡とを備えていることを特徴とする請求項16ないし請求項18のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項21】 前記結像光学系は、2つの直入射形の反射鏡(5, 7)と、フィールド形成光学素子としての一つの斜入射形の反射鏡(306)とを備えていることを特徴とする請求項16ないし請求項20のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項22】 前記物面内に配置された視野絞りを備えていることを特徴とする請求項16ないし請求項21のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項23】 前記結像光学系によって結像された前記フィールドの倍率は、1と異なるものとされていることを特徴とする請求項16ないし請求項22

のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項24】 前記少なくとも直入射形の反射鏡、および／または、前記第1の斜入射形の反射鏡、および／または、前記第2の斜入射形の反射鏡は、非球面反射鏡であることを特徴とする請求項16ないし請求項23のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項25】 前記フィールド形成光学素子が前記像面の近傍に配置されていることを特徴とする請求項16ないし請求項24のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項26】 前記少なくとも直入射形の反射鏡、および／または、前記第1の斜入射形の反射鏡、および／または、前記第2の斜入射形の反射鏡は、前記結像光学系を通って進む光線が前記少なくとも直入射形の反射鏡、および／または、前記第1の斜入射形の反射鏡、および／または、前記第2の斜入射形の反射鏡に入射する使用領域を備え、該使用領域は、前記第1の軸に対して軸外に配置されていることを特徴とする請求項16ないし請求項25のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項27】 193nm以下の波長によるリソグラフィのための照明光学系であって、

光源と、

結像光学系を備えた多重反射鏡光学系とを備え、前記結像光学系は、物面と、該多重反射鏡光学系の前記物面内に円弧状のフィールドを形成するための光学素子とを備えてなる、

照明光学系において、

前記多重反射鏡光学系は、前記物面内の前記フィールドを前記結像光学系の像面に結像させるための請求項1ないし請求項15のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系とされていることを特徴とする照明光学系。

【請求項28】 前記照明光学系は、二次光源を形成するための格子素子を有する少なくとも一つの反射鏡またはレンズを備えていることを特徴とする請求項27に記載の多重反射鏡光学系。

【請求項29】 特に193nm以下の波長によるリソグラフィのための照

明光学系であって、

光源と、

物面を有する結像光学系を備えた多重反射鏡光学系と、

前記物面内の任意のフィールドと、

二次光源を形成するための格子素子を有する少なくとも一つの反射鏡またはレンズを備えた少なくとも一つの反射鏡装置またはレンズ装置とを備えた照明光学系において、

請求項16ないし請求項26のいずれか1項に記載の多重反射鏡光学系を備えていることを特徴とする照明光学系。

【請求項30】 射出瞳を有する請求項27ないし請求項29のいずれか1項に記載された少なくとも一つの照明光学系と、

結像光学系の像面内に置かれた、搬送システム上のマスクと、

照明光学系の射出瞳と同じ面に位置する入射瞳を有する投影光学系と、

搬送システム上の感光性物体とを備えたマイクロリソグラフィのためのEUV投影露光ユニット。

【請求項31】 走査システムとして形成された請求項30に記載のEUV投影露光ユニット。

【請求項32】 請求項30または請求項31に記載されたEUV投影露光ユニットを用いて、マイクロエレクトロニクス・デバイス、特に半導体チップを製造する方法。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
P.. /EP 00/07258

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G03F7/20		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G03F G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 572 659 A (OMATA TAKASHI) 25 February 1986 (1986-02-25) column 1, line 12 - line 48 column 2, line 18 -column 3, line 3 column 3, line 57 -column 4, line 23 figures 1-6,9	1-3,27
A	---	30,32
X	US 5 677 939 A (OSHINO TETSUYA) 14 October 1997 (1997-10-14) column 22, line 10 -column 26, line 29 figures 5,6,11-14,21 ---	15,29-32
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
* Special categories of cited documents:		
*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		
*E* earlier document but published on or after the international filing date		
*L* document which may throw doubt on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		
*D* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention		
*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone		
*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art		
*Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the International search	Date of mailing of the International search report	
18 December 2000	02.02.01	
Name and mailing address of the IBA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Heryet, C	

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
EP 00/07258

C(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 581 605 A (TANITSU OSAMU ET AL) 3 December 1996 (1996-12-03) column 1, line 11 -column 2, line 22 column 3, line 65 -column 6, line 15 column 17, line 35 -column 18, line 43 figure 28 -----	15,29-32

<b>INTERNATIONAL SEARCH REPORT</b>		International application No. PCT/EP 00/07258
<b>Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 1 of first sheet)</b>		
<p>This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:</p> <p>1. <input type="checkbox"/> Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:</p> <p>2. <input type="checkbox"/> Claims Nos.: because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:</p> <p>3. <input type="checkbox"/> Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 5.4(a).</p>		
<b>Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 2 of first sheet)</b>		
<p>This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:</p> <p>see additional sheet</p> <p>1. <input checked="" type="checkbox"/> As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.</p> <p>2. <input type="checkbox"/> As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.</p> <p>3. <input type="checkbox"/> As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:</p> <p>4. <input type="checkbox"/> No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:</p>		
<p><b>Remark on Protest</b></p>		<p><input type="checkbox"/> The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> No protest accompanied the payment of additional search fees.</p>

International Application No. PCT/EP 00/07258

## FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. Claims: 1-14,27,28; 30-32 (part)

Multi-mirror system arranged to form an arc-shaped image field with a predetermined edge sharpness.

2. Claims: 15-26,29; 30-32 (part)

Multi-mirror system arranged to form an arc-shaped image field and comprising a normal incidence mirror and a field forming component.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT				International Application No
Information on patent family members				F-EP 00/07258
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 4572659	A 25-02-1986	JP	59064830 A	12-04-1984
US 5677939	A 14-10-1997	JP	7235470 A	05-09-1995
		JP	7235471 A	05-09-1995
		JP	7235472 A	05-09-1995
US 5581605	A 03-12-1996	JP	6235797 A	23-08-1994
		JP	7084108 A	31-03-1995
		JP	7094397 A	07-04-1995
		JP	7249561 A	26-09-1995
		US	5669708 A	23-09-1997

フロントページの続き

(51) Int.C1. <sup>7</sup>	識別記号	F I	マーク (参考)
G 0 3 F 7/22		G 0 3 F 7/22	H
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 3 1 A
			5 1 5 D

(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), JP, KR, US

(72) 発明者 ヴォルフガング・シンガー  
ドイツ・D-73431・アーレン・エガーラ  
ントシュトラーセ・45  
(72) 発明者 ヨハネス・ヴァングラー  
ドイツ・D-89551・ケニヒスブロン・  
アン・デア・ロイテ・15  
(72) 発明者 ヨルク・シュルツ  
ドイツ・D-73430・アーレン・ボールシ  
ュトラーセ・29

F ターム (参考) 2H052 BA03 BA07 BA09 BA12  
2H087 KA21 KA29 LA01 LA24 NA04  
RA04 RA13 RA45 TA02 TA04  
TA06  
2H097 AA02 AA16 AB08 BA10 BB03  
CA15 LA10  
5F046 BA05 CB02 CB25 GB01 GB09

【公報種別】特許法第17条第1項及び特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成15年8月26日(2003.8.26)

【公表番号】特表2003-506747 (P2003-506747A)

【公表日】平成15年2月18日(2003.2.18)

【年通号数】

【出願番号】特願2001-514632 (P2001-514632)

【国際特許分類第7版】

G02B 17/00  
13/18  
13/24  
19/00  
G03F 7/20 503  
7/22  
H01L 21/027

【F I】

G02B 17/00 A  
13/18  
13/24  
19/00  
G03F 7/20 503  
7/22 H  
H01L 21/30 531 A  
515 D

【手続補正書】

【提出日】平成15年5月2日(2003.5.2)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0117

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0117】

一つの斜入射形の反射鏡306を有する光学系の具体例が図17に示されている。リングフィールドにおいて所望の方向を得るために、負の光学的倍率を有するフィールドレンズが必要となる。円弧状のフィールドの半径は約138mmであるが、第1の結像反射鏡5の光学的倍率および入射角によって、略いかなる所望のフィールド半径をも得ることができる。表10には、そのような光学系に関するデータが与えられている。ここで、倍率に関しては、 $\beta_{\text{max}} = -1.2$ を選んだ。

【表10】

【表10】

第1の結像 反射鏡 5	橭円面	斜入射形 反射鏡 306	双曲面
$\alpha_1$	12.0	$\alpha_2$	78.0
	<u>e12</u>	500.00	
$f_1$	382.1450	$f_2$	-868.3020
<u>瞳結像</u>			
SE1	-609.7360	SE2	523.8000
SE1'	1023.8000	SE2'	1320.2146
$\beta_1$	-1.6791	$\beta_2$	2.5205
<u>フィールド結像</u>			
SR1	-810.6258	SR2	222.9651
SR1'	722.9651	SR2'	300.0000
$\beta_1$	-0.8919	$\beta_2$	1.3455
<u>面のパラメータ</u>			
$\delta_1$	27.9820	$\delta_2$	14.2042
$\omega_1$	51.9820	$\omega_2$	38.2042
e	264.2854	e	434.1220
d	480.3602	d	323.9526
b	772.8280	b	172.8956
a	816.7680	a	398.2073
p=R	-731.2519	p=R	75.0687
eps	0.3236	eps	1.0902
K	-0.1047	K	-1.1885
z	639.8277	z	845.7300

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**